



Universidad
Carlos III de Madrid

TRABAJO FIN DE GRADO



Universidad
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. Ingeniería Eléctrica

**“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE
REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-
QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS
ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN
TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”**

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

AUTOR

Aitor Ramírez Revilla

TUTOR DEL PROYECTO

Domingo Urquiza Cuadros

CURSO 15/16



Universidad
Carlos III de Madrid

TRABAJO FIN DE GRADO



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	VI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. OBJETO DEL PROYECTO	2
1.3. PROCESO DE TRABAJO.....	2
1.4. RESUMEN DE LA MEMORIA	4
CAPÍTULO 2: EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA	1
2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	2
2.2. TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN.....	2
2.2.1. COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN	3
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN	9
2.3. TRANSFORMADORES OBJETO DE ESTUDIO	9
2.4. DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN TRANSFORMADOR.....	11
CAPÍTULO 3: ACEITES.....	13
3.1. PROPIEDADES DEL ACEITE	13
3.1.1. CARACTERÍSTICAS.....	14
3.2. TIPOS DE ACEITE	17
3.2.1. ACEITES MINERALES	18
3.2.1.1. NORMATIVA VIGENTE	19
3.2.2. ACEITES SINTÉTICOS	20
3.2.2.1. NORMATIVA VIGENTE	21



3.3. TRATAMIENTOS	22
3.3.1. REACONDICIONAMIENTO	22
3.3.2. REGENERACIÓN	24
CAPÍTULO 4: INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL ACEITE	25
4.1. Mantenimiento del aceite.....	25
4.2. NORMATIVA REFERENTE AL MANTENIMIENTO	25
4.2.1. MANTENIMIENTO DE ACEITES MINERALES	26
4.2.2. MANTENIMIENTO DE ACEITES SINTÉTICOS	27
CAPÍTULO 5: DETERMINACIÓN DE VALORES DE REFERENCIA PARA TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN.....	29
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS	29
5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PERCENTILES	30
5.3. ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS	31
5.3.1. INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS.....	32
5.3.1.1. ACEITES MINERALES.....	32
5.3.1.2. ACEITES SINTÉTICOS	34
5.3.2. INDICADORES DE GASES.....	34
5.3.3. INDICADORES DE FURANOS	36
5.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
5.5. CORRELACIÓN	40
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	45
6.1. MÉTODOS PARA EL MANTENIMIENTO DE ACEITES	49
6.. PROPUESTAS.....	50
REFERENCIAS	52
ANEXO I: DIMENSIONES DEL TRANSFORMADOR	54
ANEXO II: FICHAS TÉCNICAS ACEITES	55
ANEXO III: CARACTERÍSTICAS TRANSFORMADORES	60





ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Funcionamiento de un transformador	1
Ilustración 2. Esquema de bobinados del transformador.	3
Ilustración 3 Conjunto transformador bajo bastidor.....	5
Ilustración 4 Dimensiones generales de un transformador de tracción	5
Ilustración 5 Esquema hidráulico de un transformador de tracción.....	6
Ilustración 6 Sistema de refrigeración de un transformador de tracción	7
Ilustración 7 Comparativa dimensiones de un transformador de potencia convencional frente a un transformador de tracción	8
Ilustración 8 Líneas de alta velocidad en servicio, en construcción o en estudio en diciembre de 2015.....	10
Ilustración 9 Ubicación del transformador de tracción en la locomotora.....	10
Ilustración 10 Esquema de sistema de reacondicionamiento mediante filtrado.....	23
Ilustración 11 Esquema de equipo de regeneración montado sobre semirremolque.....	24
Ilustración 12 Correlación Factor de disipación dieléctrica / Color en aceites minerales.....	41
Ilustración 13 Correlación Tensión de ruptura / Contenido en agua en aceites minerales	42
Ilustración 14 Correlación Contenido en agua / Acidez en aceites minerales	42
Ilustración 15 Correlación Acidez / Color en aceites minerales	43
Ilustración 16 Correlación Tensión de ruptura / Factor de disipación dieléctrica en ésteres sintéticos	44
Ilustración 17 Correlación Factor de disipación dieléctrica / Índice de neutralización en ésteres sintéticos	44



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Defectos provocados por la contaminación de gases libres y disueltos.....	16
Tabla 2 Valores de referencia establecidos por la norma UNE-EN 60296.....	19
Tabla 3 Valores de referencia establecidos por la norma UNE-EN 60422.....	20
Tabla 4 Valores establecidos por la norma UNE-EN 61099	21
Tabla 5 Valores de referencia indicadores FQ para el mantenimiento de aceites minerales (UNE-EN 60422)	26
Tabla 6 Valores de referencia indicadores de gases para el mantenimiento de aceites minerales (UNE-EN 60422)	27
Tabla 7 Valores de referencia indicadores FQ para el mantenimiento de ésteres sintéticos (UNE-EN 61203)	27
Tabla 8 Valores de referencia indicadores de gases para el mantenimiento de ésteres sintéticos (IEEE C57.155.2014)	28
Tabla 9 Comparación indicadores FQ aceite mineral 1 frente a la norma UNE-EN 60422	32
Tabla 10 Comparación indicadores FQ aceite mineral 2 frente a la norma UNE-EN 60422	32
Tabla 11 Comparación indicadores FQ aceite mineral 3 frente a la norma UNE-EN 60422	33
Tabla 12 Comparación indicadores FQ aceites minerales frente a la norma UNE-EN 60422	33
Tabla 13 Comparación éster sintético midel 7131 frente a la norma UNE-EN 61203	34
Tabla 14 Comparación indicadores de gases aceites minerales frente a la norma UNE-EN 60599..	35
Tabla 15 Comparación indicadores de gases ésteres sintéticos frente al estándar IEEE C.57.155.2014	35
Tabla 16 Valores de contenido en furanos obtenidos en el estudio en aceites minerales.....	36
Tabla 17 Valores de contenido en furanos obtenidos en el estudio en ésteres sintéticos.....	36
Tabla 18 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 1	40
Tabla 19 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 2	40
Tabla 20 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 3	40
Tabla 21 Estudio de correlación entre indicadores de aceites minerales.....	41
Tabla 22 Estudio de correlación entre indicadores FQ de ésteres sintéticos.....	43
Tabla 23 Nuevos valores de referencia FQ en aceites minerales.....	46
Tabla 24 Nuevos valores de referencia FQ en ésteres sintéticos	46
Tabla 25 Nuevos valores de referencia de contenido en gases en aceites minerales	47
Tabla 27 Nuevos valores de referencia de contenido en furanos en aceites minerales.....	48
Tabla 28 Nuevos valores de referencia de contenido en furanos en ésteres sintéticos.....	48



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

FQ: Físico-químicos

H₂: Hidrógeno

CH₄: Metano

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

C₂H₄: Etileno

C₂H₆: Etano

C₂H₂: Acetileno

5-HMF: Hidroximetilfurfural o 5-furfural

2-FAL: 2-furfural

2-ACF: 2 acetil furano

ND: No determinado



Universidad
Carlos III de Madrid

TRABAJO FIN DE GRADO



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En el mundo hay millones de trenes eléctricos alimentados de forma externa, ya sea por medio de una catenaria o bien por medio de un tercer riel. La mayoría de los países desarrollados cuentan con una red de transporte de ferrocarril de alta velocidad alimentados de una de estas formas.

La energía es necesario que se transforme antes de alimentar a los motores de tracción. Esta misión es llevada a cabo por los transformadores de potencia que llevan incorporadas las locomotoras de los trenes eléctricos.

Los transformadores utilizados para esta misión cuentan con un baño de aceite que permite una mejor refrigeración y soportan las exigentes condiciones a las que trabajan. Esto se traduce en cientos de miles de litros de aceite al año sólo para esta aplicación.

Actualmente no se dispone de una guía de mantenimiento específica para los fluidos dieléctricos habitualmente utilizados en los transformadores de tracción.

Los transformadores de potencia utilizados para tracción se encuentran sometidos a condiciones más exigentes que los transformadores de potencia convencionales que podemos encontrar en las subestaciones.

Un correcto funcionamiento de los transformadores en general y de los de tracción en particular pasa por un correcto seguimiento y mantenimiento del aceite que contienen. Este seguimiento permite saber la evolución de los indicadores físico-químicos, gases y furanos que nos permita realizar un mantenimiento preventivo y adelantarnos a posibles averías con el consiguiente ahorro económico y el aumento del nivel de servicio que supondría.



1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El proyecto tiene como objetivo obtener valores de referencia específicos de los transformadores de potencia para tracción (transformadores de tracción) que sirva de ayuda para la detección de averías incipientes y para el correcto mantenimiento de las máquinas.

Como objetivo secundario, se plantea identificar las posibles causas del defecto presente en las máquinas y definir las acciones correctivas a realizar.

1.3. PROCESO DE TRABAJO

Para llevar a cabo el proyecto, se hace necesario contar con datos representativos de las condiciones en las que se encuentran los aceites de los transformadores en servicio.

Para ello, se cuenta con una base de datos con más de 300 muestras de transformadores de tracción en servicio con tres tipos de aceites minerales y uno sintético que nos ha permitido llevar a cabo el estudio. El Centro de Ensayos, Innovación y Servicios (www.ceis.es), es una empresa española dedicada a la evaluación de la calidad y la seguridad de los productos. Dentro de sus servicios habituales relacionados con el mantenimiento de máquinas eléctricas destacan:

- Análisis de aceites dieléctricos y lubricantes.
- Análisis de causas de fallos en aparataje, cables y máquinas eléctricas.
- Ensayos para la caracterización y endurancia de materiales electrotécnicos.





La especial característica de los transformadores de tracción, hace necesario dedicar parte del proyecto al entendimiento de su funcionamiento y diseño.

El medio de análisis y evaluación es el fluido dieléctrico que se extrae del interior del transformador. Por ello, parte del proyecto sea dedicado a establecer las características y condiciones iniciales de estos aceites.

Los ensayos a realizar sobre los aceites son variados y fundamentalmente físico-químicos y cromatográficos. Desde el punto de vista del mantenimiento, es necesario conocer que información se obtiene de cada uno de los ensayos y su relación entre ellos.

Una vez conocidos los puntos anteriores, se organizará, depurará y analizará la base de datos para obtener la información que permita evaluar el estado de la máquina y/o del aceite.

Los valores de referencia se han obtenido a través de las normas europeas vigentes como son la norma UNE 60422 ("Aceites minerales aislantes en equipos eléctricos. Líneas directrices para su supervisión y mantenimiento") para aceites minerales y la norma UNE-EN 61203 ("Ésteres orgánicos sintéticos para usos eléctricos. Guía para el mantenimiento de ésteres para uso en transformadores") para los sintéticos.

A su vez, se quieren establecer unos valores de referencia para los furanos, en especial para los aceites sintéticos ya que en la actualidad no se dispone de ninguna normativa que establezca unos parámetros normales.

El análisis de la muestra se realizará a través de un estudio estadístico del cual obtendremos los valores de los indicadores en los transformadores de tracción:



Físico-Químicos:

- Color
- Índice de neutralización
- Contenido en agua
- Tensión de ruptura
- Tangente delta
- Etc

Gases:

- Hidrógeno
- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono
- Acetileno
- Etano
- Etileno
- Metano
- Etc

Furanos:

- 2FAL
- 5-HMF
- 2-ACF
- FENOL
- Etc

1.4. RESUMEN DE LA MEMORIA

La memoria del proyecto está compuesta por seis capítulos en los que se tratan todos los aspectos del proyecto.

En el capítulo 2 se explican los aspectos fundamentales del transformador y las diferencias básicas entre los transformadores convencionales y los transformadores de tracción.

A continuación, en el capítulo 3 se introduce el aceite aislante de los transformadores. Es el tema principal del proyecto por lo que se explican sus funciones y los tipos de aceites utilizados. También se describen los tratamientos utilizados para recuperar las propiedades adecuadas para un correcto funcionamiento.

Después, en el capítulo 4 se centra en el mantenimiento del aceite y en la legislación que lo rige.

Seguidamente, en el capítulo 5 se describe la base de datos utilizada para realizar el análisis, se presentan los resultados obtenidos en el estudio de los indicadores físico-químicos y de gases. También se expone el estudio de correlación que relaciona distintos indicadores.

Por último, en el capítulo 6 se exponen las conclusiones obtenidas en el estudio y se proponen distintas alternativas para mejorar los procedimientos a seguir en el futuro.

CAPÍTULO 2: EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Los transformadores son máquinas eléctricas cuya función es transmitir la energía eléctrica, a través de un campo magnético alterno, de un sistema de tensión U_1 a otro con tensión U_2 . Por el devanado primario se alimenta una energía eléctrica caracterizada por una tensión e intensidad de entrada. La corriente atraviesa el devanado primario, bobinado alrededor de un núcleo magnético. Esta corriente genera un campo electromagnético que trasmite la potencia de entrada a través del núcleo magnético. El devanado secundario está bobinado en el otro extremo del núcleo de hierro en el que se induce una tensión e intensidad de salida proporcional a la de entrada según la relación del número de espiras. La potencia que se transmite es prácticamente la misma, salvo las pérdidas por efecto Joule, pérdidas mecánicas y otras de menor cuantía.

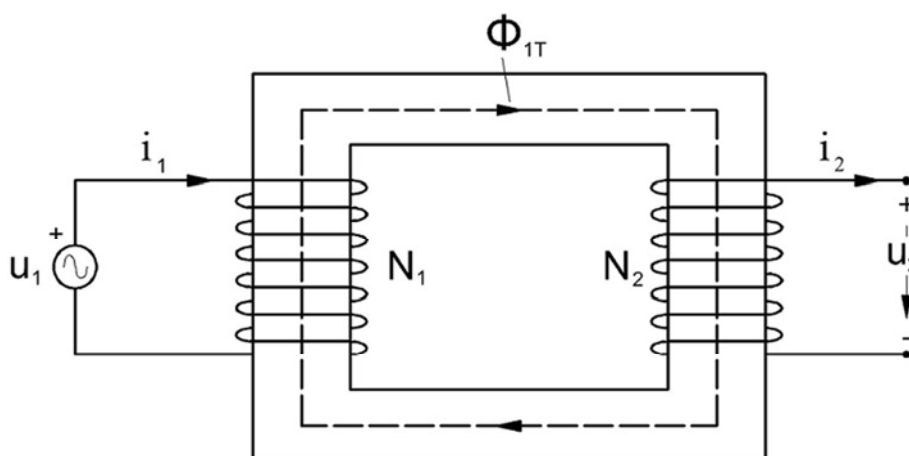


Ilustración 1 Funcionamiento de un transformador

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$



Esta misión la realiza de una forma simple y económica puesto que, al ser máquinas estáticas, tiene un menor mantenimiento, elevado rendimiento y bajo coste si lo comparamos con máquinas rotativas con la misma potencia.

2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Los transformadores se clasifican por muchos de sus parámetros de diseño:

- Sistemas de tensión: monofásicos, trifásicos, trifásicos-monofásicos, etc.
- Según aumenten o disminuyan la tensión: elevadores o reductores.
- Tipo de refrigerante: en seco, en baño de aceite, con pirálino.
- El medio en el que trabajen: interior o intemperie.
- Tipo de refrigeración: natural o forzada.

Los transformadores de tracción son transformadores de potencia con unas características que les diferencian de los transformadores habituales. Las principales diferencias que presentan se refieren a su diseño y operación.

2.2. TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN

En nuestro estudio nos centraremos en los transformadores monofásicos en baño de aceite y con refrigeración forzada, de 25 kV de tensión nominal. puesto que todos los transformadores de tracción analizados son de este tipo. Estos transformadores, según la norma UNE-EN 60422, pertenecen a la categoría C. Por esta razón, a lo largo del estudio de los valores de referencia realizado a lo largo del proyecto, los valores de referencia utilizados pertenecen a esta categoría.

El aceite va situado en una cuba y en él se sumerge la parte activa del transformador. En ella se elimina el calor, la mayor parte por convección o por radiación. La refrigeración externa de la cuba se realiza por medio de ventiladores que hacen circular el aire.

Los transformadores de tracción son unos transformadores de potencia especiales. Su peculiaridad reside en los devanados secundarios puesto que dispone de un devanado primario y cuatro devanados secundarios para tracción. Además, suelen disponer de uno más devanados dedicados a servicios auxiliares e inductancias de filtro de red necesarias para reducir los armónicos provenientes de la tensión de alimentación.

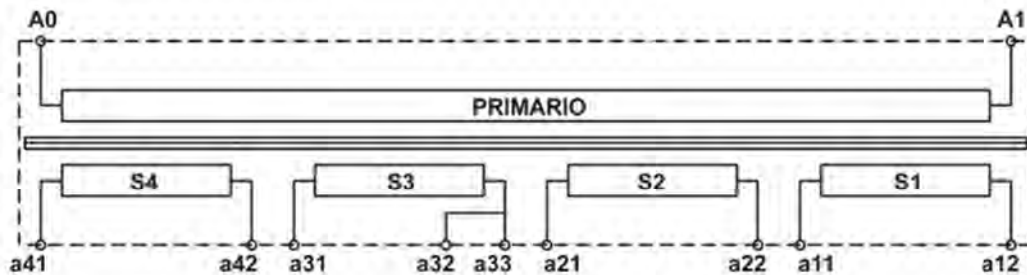


Ilustración 2. Esquema de bobinados del transformador.

2.2.1. COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN

Los elementos principales de los transformadores de tracción, aparte de los devanados ya comentados, son:

- Devanados.
- Cuba.
- Conservador o depósito de expansión.
- Sistema de refrigeración.

Debido a las exigentes condiciones bajo las que trabajan estos transformadores, estos componentes se convierten vitales para poder mantener las partes activas dentro de una temperatura de trabajo aceptable.

Devanados.



Los devanados son los encargados de realizar la función principal del transformador: transformar la tensión de niveles de transporte a una tensión apropiada para la alimentación de los motores y demás máquinas eléctricas. Están compuestos por hilo de cobre que se bobina alrededor del núcleo de hierro de forma ordenada y minuciosa y cuenta con un aislante de papel que separa los hilos del núcleo del transformador.

Cuba.

La cuba es el recipiente donde se contiene el aceite y se sumergen los devanados del transformador para que se refrigeren. La cuba es el elemento más voluminoso del transformador y conforma toda la base del transformador. Suelen estar fabricadas con acero inoxidable de gran resistencia ya que deben soportar vacío.

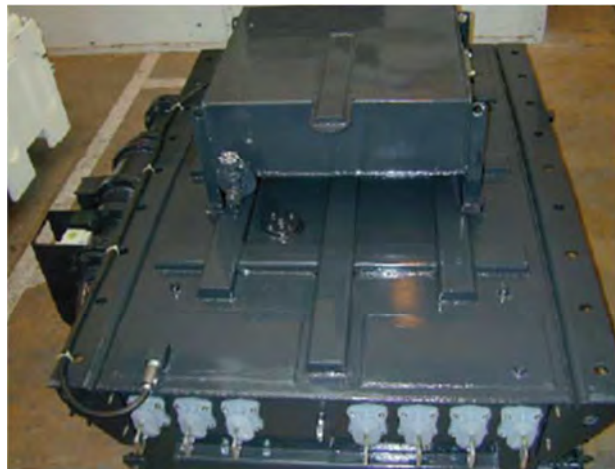


Ilustración 3 Conjunto transformador bajo bastidor.

En la siguiente figura vamos a ver un ejemplo de las dimensiones de un transformador de tracción real¹.

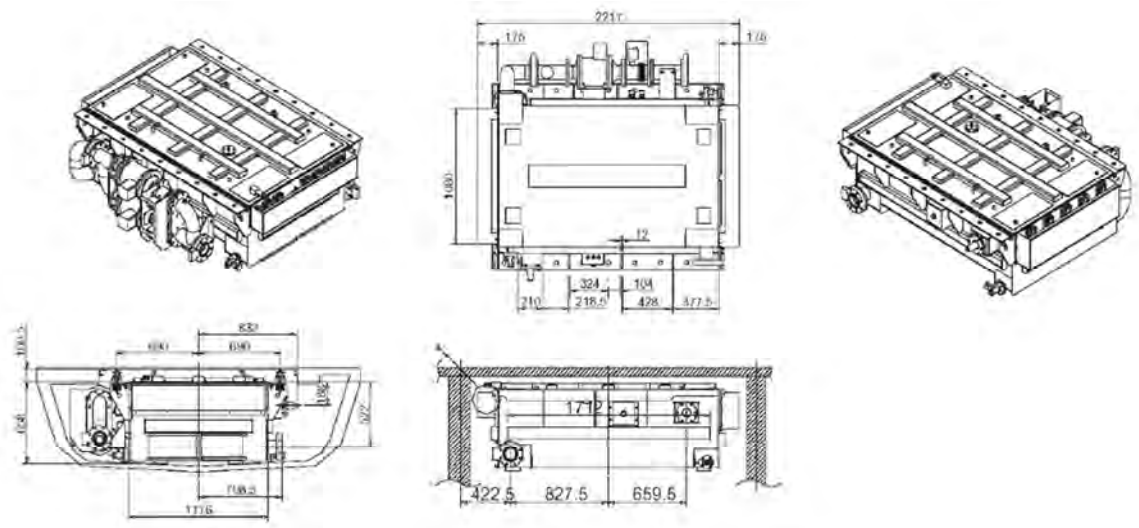


Ilustración 4 Dimensiones generales de un transformador de tracción

¹ Ver ANEXO I: Dimensiones de un transformador de tracción.

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”

Conservador o depósito de expansión.

El conservador o depósito de expansión es un dispositivo utilizado para la dilatación del aceite. Está conectado con la atmósfera por medio del secador, que absorbe la humedad del aire que se encuentra en su interior. Sus funciones principales son mantener el nivel de aceite constante, impedir el envejecimiento del aceite.

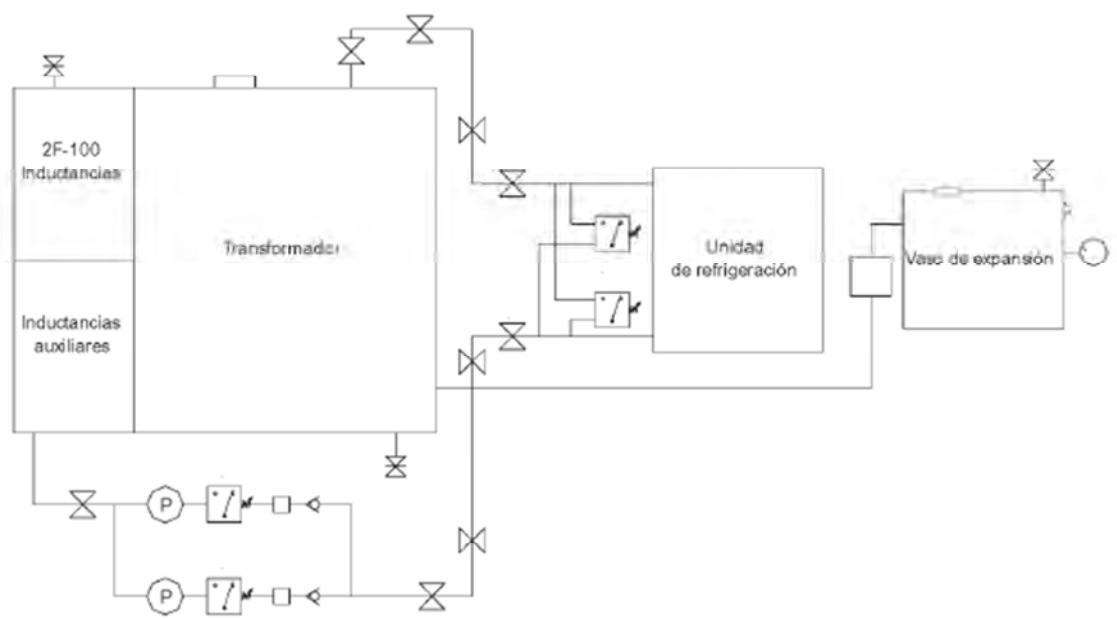


Ilustración 5 Esquema hidráulico de un transformador de tracción

Sistema de refrigeración.

El transformador de tracción y los inductores de filtro se refrigeran mediante circulación forzada tanto de aceite como de aire. El sistema de refrigeración se encarga de la refrigeración del aceite mismo, mientras que el conservador garantiza el nivel necesario.

Su misión principal es el mantenimiento de la temperatura del aceite en un rango determinado. La circulación se realiza a través de motobombas que hacen pasar el aceite por el radiador. En el radiador se produce el intercambio de calor entre el aceite y el aire que circula gracias a los motoventiladores.



Ilustración 6 Sistema de refrigeración de un transformador de tracción

La principal peculiaridad de los transformadores de tracción que se diferencia de los transformadores de potencia convencionales es su tamaño. Un transformador convencional no tiene una limitación espacial como los transformadores de los trenes, como es obvio. El transformador de tracción debe hacer las mismas funciones que el resto de transformadores pero con una limitación de dimensiones para poder ser viable su instalación en los trenes de alta velocidad y aportar la potencia necesaria para que estos se muevan a gran velocidad.

A continuación, vamos a ver una comparativa gráfica de la diferencia de diseño entre dos transformadores de potencia, del mismo voltaje de servicio y una potencia similar:



Ilustración 7 Comparativa dimensiones de un transformador de potencia convencional frente a un transformador de tracción²

² Fotografía de un transformador Alstom® (<http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/components/traction-transformers/>)

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”

2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN

Los transformadores analizados presentan unas características similares que se muestran a continuación:

- Peso: 8000 – 13000 kg
- Bobinado primario:
 - Tensión: 25 kV
 - Potencia: 3500 – 7500 kVA
- Bobinado secundario:
 - Tensión: 1500 – 2000 kV
 - Potencia: 800 – 1500 kVA
- Motoventiladores:
 - Tensión: 400 V
 - Potencia: 10 – 15 kW
- Motobombas de aceite:
 - Tensión: 400 V
 - Potencia: 5 – 10 kW

2.3. TRANSFORMADORES OBJETO DE ESTUDIO

Los transformadores de tracción son los encargados de alimentar a los motores que impulsan los trenes de alta velocidad, capaces de alcanzar una velocidad de servicio de 300 km/h.

La red de alta velocidad española se compone de cuatro corredores principales con un total de 2515 km de vías. Esta red es la más extensa de Europa y sólo por detrás de China a nivel mundial.



Ilustración 8 Líneas de alta velocidad en servicio, en construcción o en estudio en diciembre de 2015



Ilustración 9 Ubicación del transformador de tracción en la locomotora³

³ Imagen obtenida desde www.ikonet.com

"DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN"

2.4. DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN TRANSFORMADOR

El mantenimiento de los transformadores de potencia, basado en el diagnóstico del estado del fluido electrotécnico es una técnica ampliamente utilizada. Existe un amplio consenso sobre los valores y las características generales que el aceite nuevo y en servicio debe poseer. Estos acuerdos se ven plasmados en diferentes normas internacionales, tanto para aceites minerales como para ésteres u otro tipo de fluidos electrotécnicos⁴. Sin embargo, estas normas generales, no contemplan las particularidades de los transformadores especiales. El caso del transformador de tracción es uno de ellos.

Para los transformadores en general, se utilizan unos indicadores basados en las características del aceite aislante que permite estimar el estado en el que se encuentran. Los ensayos que permiten determinar el estado del aceite se clasifican según la naturaleza de la información que aportan:

- Físico-Químicos.
- De gases.
- De compuestos furánicos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

El análisis físico-químico del aceite del transformador aporta información sobre el estado en el que se encuentra el aceite. El aceite debe mantener unas propiedades de evacuación del calor, un aislamiento eléctrico, y evitar la degradación del aislamiento sólido de las bobinas. Algunos ensayos básicos pueden ser el análisis del contenido de agua, el grado de acidez o indicador del grado de envejecimiento del aceite.

De este grupo de análisis se espera obtener la información necesaria para decidir si el aceite se encuentra en condiciones óptimas para el servicio o es si es necesario reacondicionamiento o, en el peor de los casos, su sustitución.

⁴ Ver normas para aceites minerales (UNE-EN 60296, 60422, 60599), ésteres sintéticos (UNE-EN 61099, 61203) y siliconas (UNE-EN 60944)

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”



ANÁLISIS DE GASES

El análisis de gases disueltos y libres en el aceite es uno de los métodos de diagnóstico más ampliamente utilizadas para detectar y evaluar fallos en los transformadores. Sin embargo, es una tarea difícil y compleja la interpretación de estos resultados y lo debe hacer personal experimentado en mantenimiento de fluidos electrotécnicos.

El análisis de gases consiste en la medición de los gases que se generan en el aceite del transformador cuando este trabaja en condiciones anormales. Con este análisis se pueden detectar fallos como el sobrecalentamiento, las descargas parciales o el deterioro de elementos internos del transformador.

ANÁLISIS DE COMPUESTOS FURÁNICOS

El análisis de compuestos furánicos es una alternativa para saber el estado de envejecimiento del papel. Un calentamiento local puede degradar el aislamiento notablemente sin afectar a la concentración global mientras que un calentamiento global del transformador puede aumentar la concentración global sin hacer envejecer ninguna zona del aislante en exceso.

Al regenerar el aceite, el nivel de estos compuestos se reduce a una cantidad insignificante. El problema reside en el papel (aproximadamente 80%), ya que es donde se encuentran la mayor parte de estos compuestos. Por esta razón, el nivel de furanos crece rápidamente al cabo de poco tiempo.

CAPÍTULO 3: ACEITES

El aceite utilizado en los transformadores debe ser fiable para el correcto funcionamiento del equipo eléctrico en general. Sus funciones principales son las de aislante, refrigerante y de extinción de arcos eléctricos. Para ello, necesita unas características especiales:

- Alta rigidez dieléctrica para soportar las exigencias eléctricas propias del servicio.
- Viscosidad suficientemente baja para no menguar su capacidad de transferencia de calor.
- Propiedades adecuadas trabajando por debajo de la temperatura mínima esperada.
- Resistencia a la oxidación para alargar al máximo su vida útil.

Los aceites destinados a los transformadores están sometidos a condiciones más adversas que los transformadores de potencia convencionales (vibraciones, cambios de temperaturas, arranques, etc) por lo que su mantenimiento tiene aún más importancia para alargar la vida de los transformadores.

3.1. PROPIEDADES DEL ACEITE

PROPIEDADES FUNCIONALES: son aquellas que repercuten en las características aislantes y refrigerantes del aceite.

REFINO Y ESTABILIDAD: son propiedades que se refieren a la calidad, el refino y la presencia de aditivos en el aceite.

PRESTACIONES: son propiedades presentes en el funcionamiento a largo plazo o debido a la reacción de las necesidades eléctricas o térmicas.

SALUD, SEGURIDAD Y PROPIEDADES MEDIOAMBIENTALES: propiedades propias del aceite en materia de seguridad en la manipulación y de protección medioambiental.



3.1.1. CARACTERÍSTICAS

Los aceites aislantes utilizados en transformadores de tracción poseen unas características propias al inicio de su actividad y estas se alteran con el paso del tiempo debido a las condiciones a las que se encuentran sometidas. Los factores que más degradan el aceite son la oxidación y las altas temperaturas que aceleran su degradación. Éstas cualidades nos permiten saber el estado del aceite y como mantenerlo en las mejores condiciones para evitar averías y otros problemas de funcionamiento.

Vamos a definir algunas de las propiedades, las cuales estudiaremos posteriormente:

INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS

- Aspecto y color.

El color de un aceite mineral se determina por medio de la luz transmitida y su valor se calcula por medio de comparación con una referencia de colores normalizados. Un valor elevado o una rápida variación de este pueden significar degradación o contaminación del aceite.

El aspecto puede mostrar partículas o estar turbia lo que puede indicar que el aceite se encuentra contaminada.

- Tensión de ruptura dieléctrica.

La tensión dieléctrica mide la capacidad del aceite para soportar solicitaciones eléctricas. Un valor bajo de tensión de ruptura dieléctrica puede indicar la presencia de partículas, agua y/u otros contaminantes. Por el contrario, un valor elevado no indica necesariamente que el aceite no está contaminado.



- Contenido en agua.

Es necesario que el contenido en agua del aceite sea bajo para asegurar una suficiente rigidez dieléctrica y unas pérdidas por disipación contenidas.

- Acidez.

El índice de neutralización o acidez del aceite mide los constituyentes o contaminantes ácidos del aceite.

La aparición de la acidez en un aceite en un procede de la aparición de productos de oxidación ácidos. Estos contaminantes afectarán a las propiedades dieléctricas del aceite así como a otras propiedades. Los ácidos influyen en la degradación de los materiales celulósicos y corroen las partes metálicas del transformador.

Una buena muestra de la velocidad de envejecimiento de la máquina es a través de la velocidad con la que aumenta el índice de neutralización. Este indicador puede ser usado para valorar cuando un aceite debe ser regenerado o reemplazado.

- Factor de disipación dieléctrica ($\tan \delta$).

El factor de disipación dieléctrica (DDF) es muy sensible a la presencia de contaminantes polares, productos de envejecimiento o coloides en el aceite.

Valores muy altos de este indicador afecta de forma negativa al factor de potencia y a la resistencia de aislamiento del transformador.

INDICADORES DE GASES

Los fallos que presenta el aceite aislante son función de la relación entre gases contaminantes. Para que se produzca un fallo se tiene que dar que alguno de los gases presente un nivel por encima del valor de referencia y que la relación entre los gases tenga un valor crítico. En la siguiente tabla se muestran los valores críticos de las relaciones que provocan los distintos fallos.

Caso	Defecto característico	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
DP	Descargas parciales (véanse las notas 3 y 4)	NS ¹⁾	<0,1	<0,2
D1	Descargas de baja energía	>1	0,1 – 0,5	>1
D2	Descargas de alta energía	0,6 – 2,5	0,1 – 1	>2
T1	Defecto térmico $t < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	NS ¹⁾	>1 pero NS ¹⁾	<1
T2	Defecto térmico $300\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 700\text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,1	>1	1 – 4
T3	Defecto térmico $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$	<0,2 ²⁾	>1	>4

NOTA 1 – En algunos países se utiliza la relación C_2H_2/C_2H_6 en vez de la relación CH_4/H_2 . También, en algunos países se utilizan límites ligeramente diferentes para esta relación.

NOTA 2 – Las relaciones anteriores son significativas y deben calcularse sólo si al menos uno de los gases supera los valores típicos de concentración y velocidad de incremento de dicha concentración (véase el capítulo 9).

NOTA 3 – $CH_4/H_2 < 0,2$ para descargas parciales en transformadores de medida.
 $CH_4/H_2 < 0,07$ para descargas parciales en bombas.

NOTA 4 – Formas de descomposición de gases similares a las de las descargas parciales se han encontrado como resultado de la descomposición de delgadas películas de aceite entre los laminados del núcleo sobrecalentados a temperaturas de $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (véase 4.3 y [1] del anexo C).

1) NS = No significativo cualquiera que sea el valor.

2) Un valor en aumento de la concentración de C_2H_2 puede indicar que la temperatura del punto caliente es superior a $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabla 1 Defectos provocados por la contaminación de gases libres y disueltos

- Procedentes de la descomposición del aceite.

La degradación del aceite produce principalmente H_2 , CH_4 , C_2H_4 Y C_2H_2 .

- Procedentes de la descomposición del papel aislante.

Los principales gases que se generan de la descomposición del papel aislante son el CO y el CO_2 . En menor medida, también se produce agua y CH_4 .



- Procedentes del aire.

La contaminación procedente de aire provoca el aumento de los niveles de N₂ y O₂. Estos son los gases más abundantes presentes en el aire.

INDICADORES DE COMPUESTOS FURÁNICOS

Los indicadores de contenido en compuestos furánicos nos indican el nivel de envejecimiento que presenta el papel aislante, el envejecimiento del transformador y el fin de vida de un transformador.

Los mecanismos de envejecimiento del papel aislante son la hidrólisis, que es el efecto dominante a la temperatura normal de trabajo, la oxidación y la pirólisis.

3.2. TIPOS DE ACEITE

Los aceites electrotécnicos utilizados como aislantes y refrigerantes en los transformadores se pueden clasificar por su naturaleza y composición.

Los aceites minerales son los más usuales en los transformadores de tracción. Estos aceites provienen de derivados del petróleo y su composición se basa en hidrocarburos. Las propiedades de un buen aceite aislante no se encuentran en un único hidrocarburo, si no que es necesario una combinación para obtener las características adecuadas para realizar una buena función:

- Hidrocarburos aromáticos (4 a 7%)
- Hidrocarburos isoparafínicos (45 a 55%)
- Hidrocarburos nafténicos (50 a 60%)



Los aceites sintéticos son de aplicación más moderna y, aunque no hay muchos transformadores que usen este tipo de fluidos, su consumo va en aumento. Se emplean aceites sintéticos de distintas naturalezas, por ejemplo, a base de silicona, de ftalato y también con base parafínica. Las ventajas que presenta este tipo de fluido electrotécnico frente a los aceites sintéticos son:

- Es biodegradable, por lo que no requiere un tratamiento tan minucioso para su reciclaje y eliminación.
- No se oxida por lo que no se forman lodos.
- Se puede mezclar con los aceites minerales.

3.2.1. ACEITES MINERALES

Los aceites dieléctricos minerales proceden del petróleo y están compuestos mayoritariamente por hidrocarburos nafténicos. Las propiedades necesarias para los aceites de transformadores no se encuentran en un sólo hidrocarburo por lo que se componen de varios tipos (Nafténicos, parafínicos y aromáticos).

El 90% de los aceites dieléctricos usados en todo el mundo son aceites minerales, la mayoría en los transformadores e interruptores de potencia.

3.2.1.1. NORMATIVA VIGENTE

Los aceites minerales nuevos deben cumplir unos requisitos mínimos marcados por la norma UNE-EN 60296. Esta norma rige los fluidos aplicados en instalaciones electrotécnicas, más concretamente en los aceites minerales nuevos para transformadores de potencia.

A continuación se muestran las especificaciones generales que deben cumplir todos los aceites aislantes cuya misión sea proteger y alargar la vida de los transformadores y aparatos de conexión.

Propiedad	Método de ensayo	Límites
		Aceite de transformador
1 – Función		
Contenido en agua	IEC 60814	Max. 30 mg/kg ^c / 40 mg/kg ^d
Tensión de ruptura dieléctrica	IEC 60156	Min. 30 kV / 70 kV ^e
Factor de disipación dieléctrica a 90°C	IEC 60247 o IEC 61620	Max. 0,005
2 – Refino / Estabilidad		
Aspecto	--	Limpio, libre de sedimentos y materia en suspensión
Acidez	IEC 62021-1	Max. 0,01 mgKOH/g
Contenido en 2-furfural	IEC 61198	Max. 0,1 mg/kg
3 – Prestaciones		
Acidez total		Max. 1,2 mgKOH/g
Factor de disipación dieléctrica a 90°C	IEC 60247	Max. 0,500
Formación de gases	IEC 60628, A	Sin requisitos generales
^c Para suministros a granel		
^d Para suministros en bidón e IBC		
^e Después de tratamiento en laboratorio		

Tabla 2 Valores de referencia establecidos por la norma UNE-EN 60296

Los transformadores de potencia tienen un apartado dentro de esta norma cuyos valores son más restrictivos debido a unas condiciones de trabajo más duras.

A continuación se muestran los valores específicos de los indicadores necesarios para que un aceite pueda ser utilizado en los transformadores de potencia.

Propiedad	Tensión máxima del equipo (kV)		
	< 72,5	72,5 a 170	> 170
Aspecto	Limpio, libre de sedimentos y materia en suspensión		
Color (en la escala descrita en la ISO 2049)	Max. 2,0	Max. 2,0	Max. 2,0
Tensión de ruptura dieléctrica (kV)	> 55	> 60	> 60
Contenido en agua (mg/kg) ^a	20	< 10	< 10
Acidez (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Factor de disipación dieléctrica a 90°C y 40 Hz a 60 Hz ^c	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
^a Los valores no están corregidos por temperatura porque pudiera no haber transcurrido tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio entre aceite y aislamiento celulósico. ^c Valores superiores del factor de disipación dieléctrica pueden indicar contaminación excesiva o una mala aplicación de los materiales sólidos utilizados en la fabricación y debería investigarse.			

Tabla 3 Valores de referencia establecidos por la norma UNE-EN 60422

3.2.2. ACEITES SINTÉTICOS

Hasta la fecha, la utilización de aceites sintéticos como aislantes eléctricos ha sido escasa. En la actualidad, se emplean aceites sintéticos de silicona y ésteres de ftalato para aplicaciones que requieren mucha seguridad y un tiempo en servicio elevado. También se están probando aceites dieléctricos de base parafínica. Los resultados desvelan que las pruebas e interpretaciones son similares a los aceites sintéticos a base de silicona. No requiere pruebas de oxidación puesto que este componente no sufre oxidación.

3.2.2.1. NORMATIVA VIGENTE

Los ésteres sintéticos se rigen por la norma UNE-EN 61099 y en ella se establecen los valores de referencia de indicadores físico-químicos para ésteres nuevos utilizados en transformadores de potencia.

Propiedad	Método de ensayo	Valores permitidos
Físicas		
Color	ISO 2211	Max. 200 Hazen
Aspecto	Visual	Limpio y exento de agua y minerales en suspensión y sedimentos
Químicas		
Contenido en agua (mg/kg)	IEC 60814	Max. 200 ^a
Acidez (mg KOH/g)	IEC 62021-1 o IEC 62021-2	Max. 0,03
Acidez total (mg KOH/g)		Max. 0,3
Eléctricas		
Tensión de ruptura dieléctrica (kV)	IEC 60156	Min. 45 ^a
Factor de disipación dieléctrica, tang δ a 90°C y 50 Hz	IEC 60247 o IEC 61620	Max. 0,03 ^{a,c}
^a Para líquido no tratado, según se recibe. ^c Para frecuencias [f(Hz)] en el rango de 48 Hz a 62 Hz, se convierten los valores como sigue: $\tan \delta [f (50 \text{ Hz})] = \frac{f (\text{Hz})}{50} \times \tan \delta [f (\text{Hz})]$		

Tabla 4 Valores establecidos por la norma UNE-EN 61099



3.3. TRATAMIENTOS

3.3.1. REACONDICIONAMIENTO

El reacondicionamiento consiste en eliminar o reducir la contaminación de elementos físicos mediante procesos físicos como pueden ser la filtración, el secado, la desgasificación, etc.

El reacondicionamiento minimiza el contenido en partículas y agua presente en el aceite. Adicionalmente puede reducir el contenido en gases disueltos y otros agentes como derivados furánicos.

Si el reacondicionamiento no se realiza bajo vacío, es recomendable no superar los 30 °C durante el proceso. Si por el contrario se usa vacío, se pueden alcanzar temperaturas de hasta 85 °C.

Equipos de reacondicionamiento:

- Filtros.

Los filtros consisten en hacer pasar el aceite por un material absorbente (papel) a presión. Las partículas presentes en el aceite se quedan en el filtro y se reduce el contaminante presente en el aceite. Este método no es muy eficaz para la eliminación de agua puesto que se alcanza muy rápidamente el equilibrio entre el agua presente en el aceite y en el filtro.

Los filtros se contaminan de aceite usado y partículas por lo que es muy importante su sustitución siguiendo la legislación vigente.

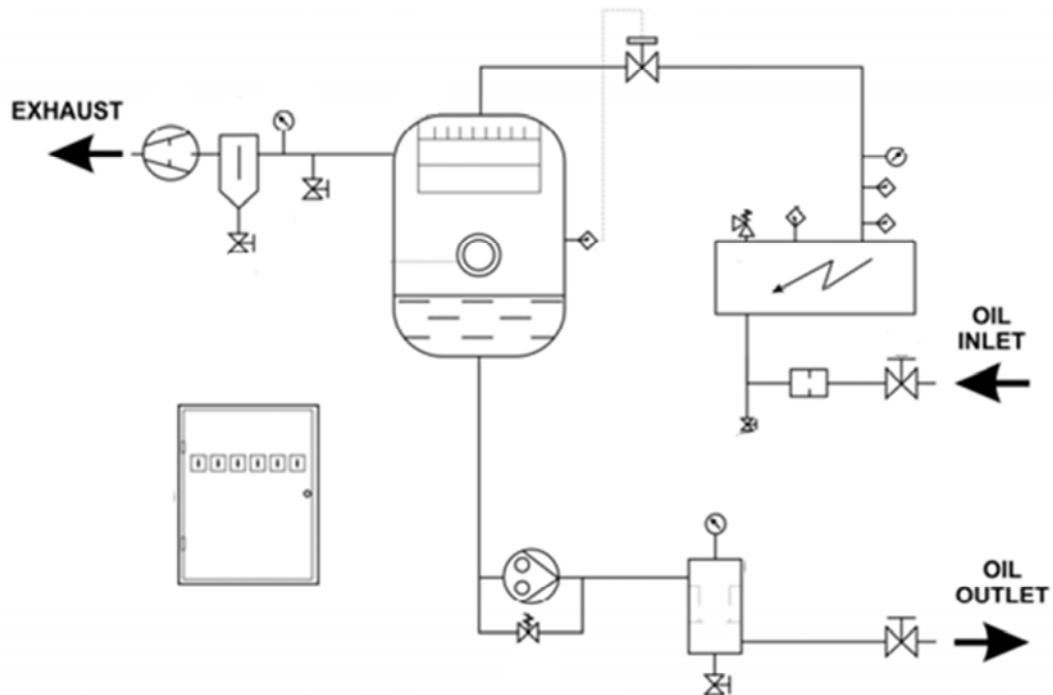


Ilustración 10 Esquema de sistema de reacondicionamiento mediante filtrado

- Centrífugas.

Las centrífugas son capaces de procesar mayores concentraciones y procesar mayor cantidad de aceite aunque no elimina algunas partículas con tanta efectividad como los filtros.

El proceso se mejora colocando un filtro a la salida de la centrífuga aumentando la eficacia del proceso.

- Deshidratadores bajo vacío.

Los deshidratadores de vacío son los más eficaces en la eliminación del agua que contiene el aceite. El contenido en agua se reduce hasta valores muy bajos. Hay dos formas de realizar dicho proceso: a través de la pulverización de aceite en la cámara de vacío; o bien, el aceite fluye en finas capas sobre unas pantallas en el interior de la cámara de vacío. Ya sea de una forma u otra, la finalidad es maximizar la superficie de aceite y el mínimo espesor.

3.3.2. REGENERACIÓN

La regeneración reduce o elimina los compuestos polares tanto solubles como insolubles que contaminan el aceite por medio de procesos físicos y químicos. La regeneración altera las condiciones iniciales del aceite. Al reducir la acidez mediante este método, normalmente también se reduce su resistencia a la oxidación.

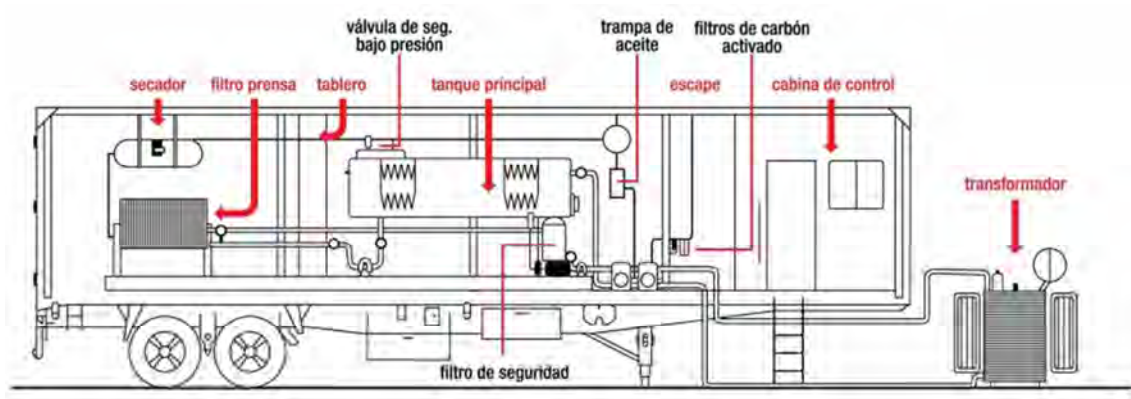


Ilustración 11 Esquema de equipo de regeneración montado sobre semirremolque



CAPÍTULO 4: INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL ACEITE

4.1. Mantenimiento del aceite

El mantenimiento de los transformadores es vital para asegurar un buen funcionamiento y alargar la vida de los aparatos. Los transformadores son equipos muy costosos y que requieren de un cuidado especial para que la inversión sea rentable.

Para minimizar la erosión de los transformadores se utiliza el aceite de refrigeración. El aceite es un indicador del estado del transformador a la vez que es un elemento vital para su funcionamiento.

Realizar un análisis periódico del estado del aceite y tratarlo, en caso de ser necesario, alarga el buen funcionamiento del transformador y además tiene un coste reducido.

En el capítulo anterior hemos visto los principales aspectos a tener en cuenta en los aceites y los métodos para tratarlos.

4.2. NORMATIVA REFERENTE AL MANTENIMIENTO

Al igual que los aceites nuevos, existe una normativa que regula los valores mínimos que debe cumplir un aceite en uso para que este pueda seguir siendo utilizado para los transformadores de potencia.

4.2.1. MANTENIMIENTO DE ACEITES MINERALES

La norma que rige los aceites minerales usados es la UNE-EN 60422. Esta norma describe los valores recomendados de los indicadores del aceite para que puedan asegurar un correcto funcionamiento del transformador al que asisten así como las acciones a realizar para reacondicionar o regenerar el aceite según el envejecimiento que presente.

Propiedad	Categoría	Límites recomendados		
		Bueno	Regular	Malo
Aspecto y color	Todos	Limpio y sin contaminación visible		Oscuro y/o turbio
Tensión de ruptura dieléctrica (kV)	C	>40	40 – 30	<30
Contenido en agua (mg/kg a la temperatura de trabajo del transformador)	C, E	<30	30 – 40	>40
Acidez (mg_{KOH}/g_{aceite})	C	<0,15	0,15 – 0,30	>0,30
Factor de disipación dieléctrica a 40 Hz a 60 Hz a 90°C	B, C	<0,10	0,10 – 0,50	>0,50

Tabla 5 Valores de referencia indicadores FQ para el mantenimiento de aceites minerales (UNE-EN 60422)

Los indicadores de gases también están regulados por una norma internacional. En este caso, la norma en cuestión es la UNE-EN 60599. Esta norma sirve como guía para la interpretación de los ensayos de gases realizados a los aceites en servicio en equipos eléctricos y, en lo que se refiere a nuestro estudio, en transformadores de tracción.

Subtipo de transformador	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
Sin CTC	60 – 150	540 – 900	5100 – 13000	40 – 110	50 – 90	60 – 280	3-50

Tabla 6 Valores de referencia indicadores de gases para el mantenimiento de aceites minerales (UNE-EN 60422)⁵

4.2.2. MANTENIMIENTO DE ACEITES SINTÉTICOS

Los ésteres orgánicos también tienen una norma que rige cuándo es adecuado el uso de estos fluidos y cuando se deben tratar o cambiar. Esta norma es la UNE-EN 61203, guía para el mantenimiento de aceites sintéticos en transformadores.

Esta norma presenta unos valores recomendados pero no entra en detalle como las otras normas anteriormente vistas.

Los valores mostrados en la tabla hacen referencia a equipos cuya tensión nominal es igual o inferior a 35kV:

Propiedad	Límite
Aspecto	Transparente
Contenido en agua	≤ 400 mg/kg
Valor de neutralización	≤ 2,0 mg KOH/g
Rigidez dieléctrica	> 30 kV
Factor de disipación dieléctrica, a temperatura ambiente	≤ 0,01

Tabla 7 Valores de referencia indicadores FQ para el mantenimiento de ésteres sintéticos (UNE-EN 61203)

⁵ En algunos países, se utilizan valores tan bajos como 0,5μl/l de C₂H₂ y 10μl/l de C₂H₄

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”

Los indicadores de contenido en gases libres o contenidos en el éster sintético no vienen reflejados en ninguna norma internacional como ocurre con los otros indicadores analizados anteriormente. Para encontrar una referencia respecto a los valores recomendados de cada uno de los gases hay que ir al estándar IEEE C57.155.2014 “IEEE Guide for Interpretation of Gases Generate in Natural Ester and Synthetic Ester-Immersed Transformers”.

	H₂	CH₄	C₂H₆	C₂H₄	C₂H₂	CO
Percentil 90	64	104	124	150	13	1344
95% C. I.	(52-82)	(49-135)	(105-362)	(79-215)	(0-33)	(937-1526)
Percentil 95	88	144	474	230	42	1541
95% C. I.	(67-109)	(109-182)	(133-590)	(157-329)	(18-54)	(1356-1845)
Percentil 98	100	179	592	325	51	1736
95% C. I.	(85-1335)	(139-1686)	(424-674)	(220-3359)	(36-93)	(1555-2393)

Tabla 8 Valores de referencia indicadores de gases para el mantenimiento de ésteres sintéticos (IEEE C57.155.2014)

CAPÍTULO 5: DETERMINACIÓN DE VALORES DE REFERENCIA PARA TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN

El objeto del estudio es el de establecer los valores de referencia de las características de los aceites utilizados en transformadores de tracción para la ayuda a la gestión del mantenimiento.

Los valores de referencia en las normas estudiadas se basan en los valores de percentiles, típicamente el 90%, de la recopilación de distintas bases de datos. En este trabajo se han tratado los siguiendo el mismo procedimiento con la finalidad de poder comparar los resultados con los valores indicados en las normas y establecer valores de referencia específicos para este tipo de transformadores.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS

La base de datos consta de 4704 ensayos resultados de análisis de ensayos de indicadores físico-químicos, de contenido en gases disueltos y de contenido en furanos de un total de 150 transformadores de tracción.

Dentro de la población de muestras se puede dividir en dos grandes subgrupos: aceites minerales y ésteres sintéticos. Entrando más en detalles, los aceites minerales se pueden clasificar en tres subgrupos que hemos denominado Aceite Mineral 1, Aceite Mineral 2 y Aceite mineral 3⁶.

⁶ Véase ANEXO II: Fichas técnicas de los aceites utilizados en transformadores de tracción.
"DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS
ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN"



Los análisis de indicadores físico-químicos constan de 5 ensayos distintos. Para los gases, son 7 los ensayos en los que nos fijamos los valores de estudio. Por último, para el estudio de la presencia de furanos se establecen 4 los indicadores a analizar.

Tras la depuración se procede a obtener los resultados del análisis.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PERCENTILES

Los percentiles son un método estadístico de cálculo de valores de referencia. Los percentiles indican el valor que marca el tanto por ciento de muestras que está por debajo de dicho valor.

Percentil 20 → El 20% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

Percentil 25 → El 25% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

Percentil 30 → El 30% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

.

.

.

Percentil 90 → El 90% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

Percentil 95 → El 95% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

Percentil 98 → El 95% de los valores de la muestra está por debajo de ese valor.

Los valores de referencia que aparecen en las normas suelen calcularse a partir del percentil 90. Siguiendo este estándar vamos a realizar el estudio de nuestra muestra y obtener los resultados de los transformadores de tracción.



Los valores por debajo del percentil 90 se consideran buenos. Aquellos que se encuentran entre el percentil 90 y el percentil 95 son los llamados regular, y requieren un seguimiento de evolución en el tiempo. Los valores por encima del percentil 95 se consideran malos, por lo que requieren realizar una acción correctiva sobre ellos o incluso se puede descartar el aceite y sustituirlo.

5.3. ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS

Las normas se refieren a los transformadores de potencia normales y no tienen en cuenta a los transformadores de tracción. Estos, están sometidos a condiciones más adversas que los transformadores convencionales y sus niveles de referencia difieren.

En las siguientes tablas se muestran los valores de referencia que marca la norma frente a los valores de referencia obtenidos de la muestra para los aceites minerales.

Dentro de los aceites minerales existe una disparidad en los valores de referencia obtenidos. Esto puede deberse a diversos factores como pueden ser la composición de cada aceite, el año de fabricación, el tiempo de funcionamiento en el momento de la prueba o el número de muestras de cada aceite.

5.3.1. INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS

5.3.1.1. ACEITES MINERALES

El aceite mineral 1 consta de 1408 muestras en total y en el caso de los ensayos de FQ cuenta con 440 resultados válidos, los cuales dan los valores mostrados a continuación.

	NORMA UNE-EN 60422			ACEITE MINERAL 1		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
ASPECTO	Limpio		Turbio			
COLOR	ND	ND	ND	5,25	(5,25 - 5,5)	5,5
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,15	(0,15 - 0,30)	0,3	0,16	(0,16 - 0,18)	0,18
CONTENIDO EN AGUA	30	(30 - 40)	40	32	(32 - 35)	35
TANGENTE DELTA	0,10	(0,10 - 0,50)	0,50	0,3	(0,3 - 0,35)	0,35
TENSIÓN RUPTURA	> 40	(30 - 40)	< 30	> 45	(45 - 39)	< 39

Tabla 9 Comparación indicadores FQ aceite mineral 1 frente a la norma UNE-EN 60422

El aceite mineral 2 es el aceite del cual se tienen menos datos. Sólo se dispone de 520 muestras y de ellas tan sólo 100 son de indicadores físico-químicos que arrojan los siguientes resultados.

	NORMA UNE-EN 60422			ACEITE MINERAL 2		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
ASPECTO	Limpio		Turbio			
COLOR	ND	ND	ND	2,5	2,5	2,5
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,15	(0,15 - 0,30)	0,3	0,05	(0,05 - ,06)	0,06
CONTENIDO EN AGUA	30	(30 - 40)	40	20	(20 - 21)	21
TANGENTE DELTA	0,10	(0,10 - 0,50)	0,50	0,01	(0,01 - 0,02)	0,02
TENSIÓN RUPTURA	> 40	(30 - 40)	< 30	>45	(45 - 41)	<41

Tabla 10 Comparación indicadores FQ aceite mineral 2 frente a la norma UNE-EN 60422

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”

El aceite mineral 3 es el aceite del que se dispone de más muestras, 2176 en concreto, de las cuales 680 pertenecen a resultados obtenidos de ensayos de indicadores físico-químicos y los resultados son:

	NORMA UNE-EN 60422			ACEITE MINERAL 3		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayo r que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
ASPECTO	Limpio		Turbio			
COLOR	ND	ND	ND	3	(3 - 3,5)	3,5
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,15	(0,15 - 0,30)	0,3	0,4	(0,4 - 0,5)	0,5
CONTENIDO EN AGUA	30	(30 - 40)	40	30	(30 - 34)	34
TANGENTE DELTA	0,10	(0,10 - 0,50)	0,50	0,03	(0,03 - 0,04)	0,04
TENSIÓN RUPTURA	> 40	(30 - 40)	< 30	>44	(44 - 40)	<40

Tabla 11 Comparación indicadores FQ aceite mineral 3 frente a la norma UNE-EN 60422

Por último, se ha realizado una comparación de los valores de aceites minerales sin diferenciar entre las distintas marcas para tener una visión más general con un número mayor de muestras.

En este análisis contamos con un total de 4104 muestras de los distintos ensayos de indicadores físico-químicos de los que se dispone y se obtiene el siguiente resultado:

	NORMA UNE-EN 60422			ACEITES MINERALES		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
ASPECTO	Limpio		Turbio			
COLOR	ND	ND	ND	4,5	(4,5 - 5)	5
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,15	(0,15 - 0,30)	0,3	0,22	(0,22 - 0,42)	0,42
CONTENIDO EN AGUA	30	(30 - 40)	40	31	(31 - 35)	35
TANGENTE DELTA	0,10	(0,10 - 0,50)	0,50	0,24	(0,24 - 0,31)	0,31
TENSIÓN RUPTURA	> 40	(30 - 40)	< 30	> 44	(44 - 39)	<39

Tabla 12 Comparación indicadores FQ aceites minerales frente a la norma UNE-EN 60422

5.3.1.2. ACEITES SINTÉTICOS

Para el aceite sintético sólo se dispone un único aceite. Para su análisis disponemos de 250 muestras que nos arrojan el siguiente resultado:

	NORMA UNE-EN 61203			ACEITE SINTÉTICO		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
COLOR	ND	ND	ND	1,5	(1,5 - 2)	2
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	2	ND	ND	0,29	(0,29 - 0,3)	0,3
CONTENIDO EN AGUA	400	ND	ND	110	(110 - 145)	145
TANGENTE DELTA	0,01	ND	ND	0,5	(0,5 - 0,68)	0,68
TENSIÓN RUPTURA	> 30	ND	ND	> 56	(56 - 55)	< 55

Tabla 13 Comparación éster sintético midel 7131 frente a la norma UNE-EN 61203

5.3.2. INDICADORES DE GASES

La presencia de gases en los aceites aislantes es un síntoma de degradación y han de tenerse en cuenta a la hora de evaluar el estado del fluido. Los aceites minerales tienen regulados estos niveles por medio de la norma UNE-EN 60599. Por el contrario, los ésteres sintéticos no cuentan con una norma internacional que los regule aunque si tienen establecidos unos valores nominales de funcionamiento. El organismo IEEE, a través del protocolo C57.155 del 2014 propone estos valores.

En siguiente tabla se muestra una comparación entre los valores que fija la norma y los resultados obtenidos en los 1736 ensayos realizados.

	NORMA UNE-EN 60599			ACEITES MINERALES		
	MANTENIMIENO					
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
H2	60	60-150	150	20	20-41	41
CO	540	540-900	900	225	225-276	276
CO2	5100	5100-13000	13000	2335	2335-3043	3043
CH4	40	40-110	110	105	105-131	131
C2H6	50	50-90	90	412	412-471	471
C2H4	60	60-280	280	29	29-431	431
C2H2	3	3-50	50	2	2-18	18

Tabla 14 Comparación indicadores de gases aceites minerales frente a la norma UNE-EN 60599

A continuación se muestra una comparativa entre los valores arrojados de los 385 ensayos realizados a los aceites sintéticos con respecto a los valores de referencia:

	IEEE C57.155.2014			ÉSTER SINTÉTICO		
	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)	BUENO (menor que)	REGULAR (entre)	MALO (mayor que)
H2	64	64-88	88	1205	1205-1440	1440
CO	1344	1344-1541	1541	239	239-304	304
CO2	ND	ND	ND	3284	3284-4126	4126
CH4	104	104-144	144	158	158-212	212
C2H6	124	124-474	474	92	92-113	113
C2H4	150	150-230	230	7	7-10	10
C2H2	13	13-42	42	2	2-2	2

Tabla 15 Comparación indicadores de gases ésteres sintéticos frente al estándar IEEE C.57.155.2014

5.3.3. INDICADORES DE FURANOS

Con respecto al contenido de furanos en aceites utilizados en transformadores de potencia no hay ninguna norma que lo regule. A continuación, vamos a exponer los resultados arrojados de la base de datos de estudio y a su posterior análisis.

En los aceites minerales se dispone de 700 resultados de cuatro tipos de indicadores de contenido en furanos que arrojan los siguientes datos:

	5HMF	2FAL	2ACF	FENOL
Percentil 90	0,1	1,2	0,05	3,5
Percentil 95	0,2	1,9	0,1	4

Tabla 16 Valores de contenido en furanos obtenidos en el estudio en aceites minerales

Los ésteres sintéticos cuentan con bastantes menos análisis de indicadores de contenido en furanos, 400 muestras en total, pero nos sirven para poder hacer una primera aproximación a los valores a tener en cuenta en dichos componentes.

Sólo es posible sacar valores que se asemejen a la realidad de los resultados cambiando los percentiles de cálculo. El límite inferior se establece en el percentil 50 mientras que el límite superior lo marca el percentil 75.

	2FAL	2ACF	FENOL
Percentil 50	0,01	0,04	0,1
Percentil 75	0,02	0,09	0,3

Tabla 17 Valores de contenido en furanos obtenidos en el estudio en ésteres sintéticos

5.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez presentados todos los resultados y compararlos con las normas que rigen los valores de referencia para un correcto funcionamiento, se obtienen unas interpretaciones en función del tipo de aceite, indicador y ensayo.

- **Indicadores físico-químicos.**

a) Los aceites minerales presentan unos valores que cumplen, en términos generales con los límites establecidos en las normas. Si bien nos fijamos en el análisis de los aceites minerales, por hacer una valoración que se pueda extrapolar a todos los transformadores sumergidos en aceite mineral, sea cual sea la marca, se obtiene lo siguiente:

- ✓ **Aspecto:** el análisis realizado muestra que tan solo el 7% de las muestras presentan un estado de turbiedad mientras que el resto, salvo una excepción, tiene un aspecto limpio y libre de partículas en suspensión. Esto nos indica el buen estado general de la población de muestras recogidas.
- ✓ **Color:** la norma no establece unos valores de referencia con respecto a la tonalidad del color. Según el estudio realizado podemos añadir a la norma una referencia con respecto al color, el cual nos permite valorar de forma visual el estado del aceite, abaratando los costes de análisis de muestras.
- ✓ **Índice de neutralización o acidez:** este es el indicador que más resultados negativos aporta y podemos verlo en los valores obtenidos. Aun estando muy próximo a la norma, se debe estudiar la elevación de los valores de referencia para estas máquinas en concreto, debido a las condiciones adversas a las que se encuentran sometidos en servicio. Dicho esto, se propone una elevación del límite inferior (marcado como “bueno”) en 0,05, situándolo en 0,2 y poniendo el factor de seguridad en 2,5. De esta manera, los valores de las muestras de transformadores de tracción reflejarán un buen estado tanto real como al compararlo con los valores de referencia.
- ✓ **Contenido en agua:** las condiciones de trabajo a las que están sometidos los transformadores de tracción no alteran los niveles normales de agua en el aceite y se mantienen dentro de los valores estipulados por la norma.

“DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE REFERENCIA DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS FLUIDOS ELECTROTÉCNICOS UTILIZADOS EN TRANSFORMADORES DE TRACCIÓN”

- ✓ **Factor de disipación dieléctrica ($\tan \delta$):** al igual que en el agua, los valores de este indicador se encuentran dentro de los límites normales. Por concretar más, se propone la variación de ambos límites para reducir el excesivo factor de seguridad que existe ($fds=5$). Un factor de seguridad de 2 es suficiente y permite un mayor control sobre el estado del aceite.
 - ✓ **Tensión de ruptura:** tan sólo en las muestras cuyo estado general es malo presentan unos niveles por debajo de los límites. En un balance general, presentan unos valores más que aceptables.
- b) Los ésteres sintéticos presentan unos resultados aún mejores que los comentados en los aceites minerales. A continuación se muestran uno a uno los indicadores analizados:
- ✓ **Aspecto:** se repite en este caso el porcentaje del 7% de muestras con un aspecto turbio mientras que el resto presenta una apariencia limpia y sin partículas en suspensión.
 - ✓ **Color:** el color en los ésteres no es un factor muy a tener en cuenta puesto que apenas varía su tonalidad. En los resultados se ve que los valores no suben del 2 cuando el valor de un éster nuevo es 1.
 - ✓ **Índice de neutralización o acidez:** se puede ver claramente en este indicador que los resultados obtenidos se encuentran muy por debajo del límite inferior o "bueno". Esto sugiere una variación de los valores de referencia que se asemejen más a la realidad de estas máquinas, llevando el límite inferior a 0,5. Esta disminución tan elevada se podría realizar debido a que la variación que presentan el límite inferior del superior es muy pequeña ($fds=1,05$), es decir, las variaciones en este indicador son muy pequeñas.
 - ✓ **Contenido en agua:** al igual que sucedía con la acidez, la cantidad de agua contenida en el aceite se encuentra muy por debajo de los valores obtenidos. En este caso también se puede proponer una disminución de los valores de referencia.
 - ✓ **Factor de disipación dieléctrica ($\tan \delta$):** el límite establecido en este indicador no se asemeja nada a los valores medidos en los análisis. El valor mínimo que presentan las muestras tomadas es 7 veces superior al valor propuesto por la norma. De esta manera, se propone una elevación del valor de referencia que identifique el estado real del éster.



- ✓ **Tensión de ruptura:** los valores de este indicador se encuentran en condiciones muy favorables respecto a la norma, al igual que sucedía en los aceites minerales.

- **Indicadores de contenido en gases.**

Los valores de referencia fijados por las normas que rigen estas máquinas no representan los valores recogidos en nuestro estudio. Tanto en los aceites minerales como en los ésteres sintéticos, los límites expuestos son muy distantes como para poder darles credibilidad en base al correcto funcionamiento de los transformadores de tracción analizados. Por esta razón, se deben establecer unos nuevos valores de referencia específicos para este tipo de transformadores.

- **Indicadores de contenido en furanos.**

Los indicadores de contenido en furanos no están contemplados en ninguna norma por lo que no existen unos valores de referencia con los que partir para valorar el estado del aceite aislante ya sea mineral o se trate de éster sintético. Tras analizar los resultados de los ensayos realizados se puede proponer unos valores de referencia base para futuros ensayos.

5.5. CORRELACIÓN

El coeficiente de correlación nos indica el grado de relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Esta medida es independiente del rango de medida de las variables, lo que nos permite relacionar variables muy distintas que se encuentran entre los indicadores de los aceites. Este valor puede estar comprendido entre -1 y 1 siendo el -1 una correlación inversa (cuando una variable aumenta, la otra disminuye y viceversa) y el 1 una correlación directa (cuando una variable aumenta, la otra también y viceversa).

En los aceites minerales obtenemos los siguientes resultados:

	COLOR	ACIDEZ	CONTENIDO EN AGUA	TAN δ
ACIDEZ	0,88			
CONTENIDO EN AGUA	0,20	0,30		
TAN DELTA	0,84	0,82	0,41	
TENSIÓN DE RUPTURA	0,12	0,06	-0,55	0,11

Tabla 18 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 1

	COLOR	ACIDEZ	CONTENIDO EN AGUA	TAN δ
ACIDEZ	0,58			
CONTENIDO EN AGUA	0,13	0,01		
TAN DELTA	0,10	0,32	-0,62	
TENSIÓN DE RUPTURA	-0,13	0,09	-0,40	0,42

Tabla 19 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 2

	COLOR	ACIDEZ	CONTENIDO EN AGUA	TAN δ
ACIDEZ	0,71			
CONTENIDO EN AGUA	0,16	0,44		
TAN DELTA	0,47	0,58	0,49	
TENSIÓN DE RUPTURA	0,08	-0,07	-0,43	-0,03

Tabla 20 Estudio de correlación entre indicadores del aceite mineral 3

	COLOR	ACIDEZ	CONTENIDO EN AGUA	TAN δ
ACIDEZ	0,36			
CONTENIDO EN AGUA	0,19	0,35		
TANGENTE DELTA	0,77	0,02	0,29	
TENSIÓN DE RUPTURA	0,08	-0,02	-0,45	0,05

Tabla 21 Estudio de correlación entre indicadores de aceites minerales

Los ensayos de aceites minerales presentan una correlación débil a partir de 0,35. Este valor se define debido al número de muestras disponibles. El valor de correlación varía en función del número de muestras a comparar y cuanto más pequeña es la muestra menor es el valor de correlación que indica relación entre los parámetros.

A continuación, analizaremos uno a uno los resultados marcados en la tabla anterior:

- **Correlación Tangente δ / Color**

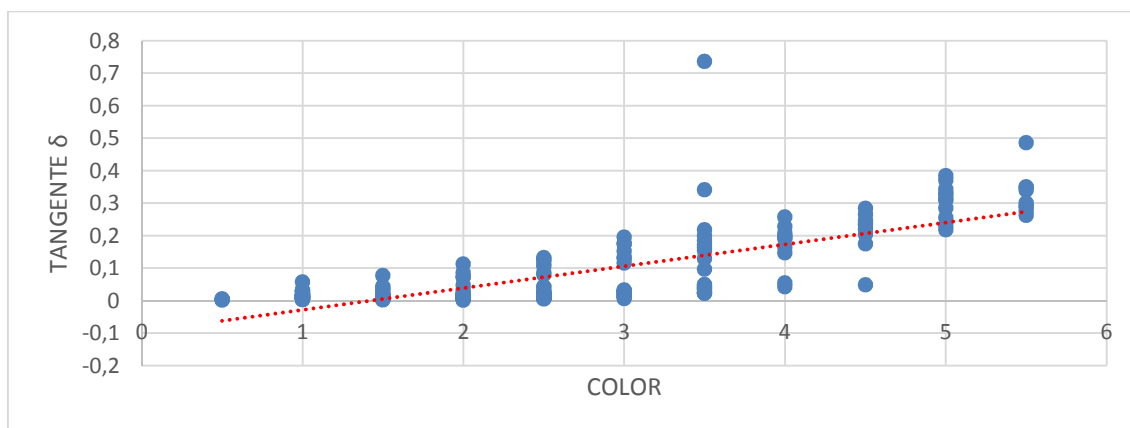


Ilustración 12 Correlación Factor de disipación dieléctrica / Color en aceites minerales

- **Correlación Tensión de ruptura / Contenido en agua**

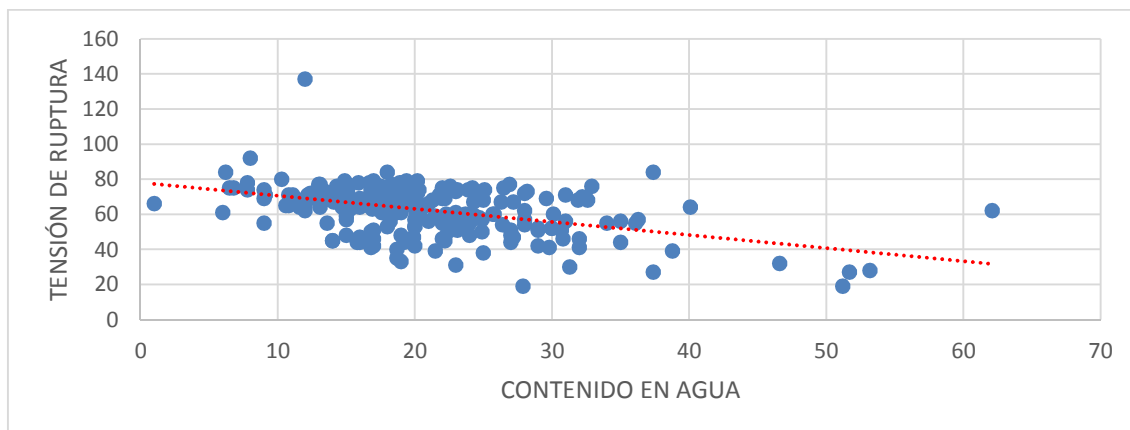


Ilustración 13 Correlación Tensión de ruptura / Contenido en agua en aceites minerales

- **Correlación Contenido en agua / Índice de neutralización**

Aunque si se considera que exista una correlación entre estos dos indicadores, es bastante débil y no es determinante como para tenerla en cuenta a la hora de analizar muestras.

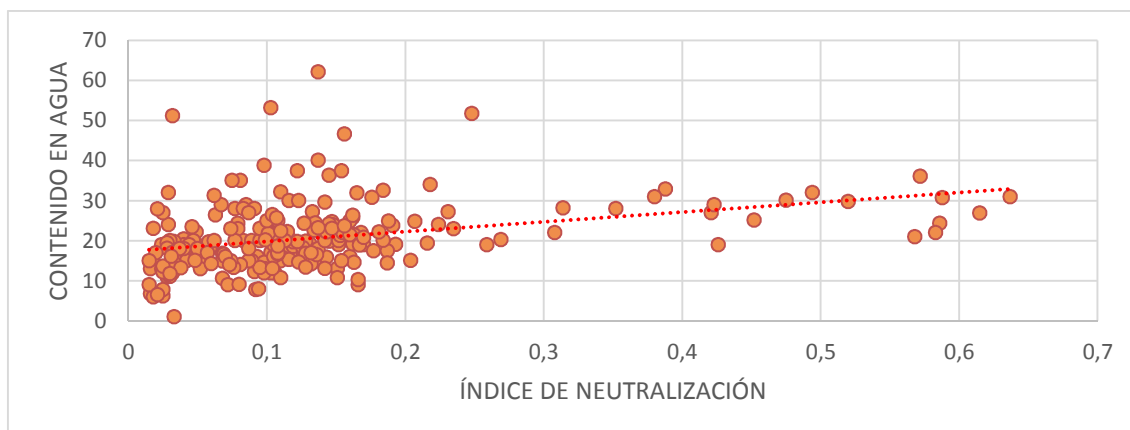


Ilustración 14 Correlación Contenido en agua / Acidez en aceites minerales

- **Correlación Índice de neutralización / Color**

Al igual que en el caso anterior, esta correlación no es suficientemente fuerte como para considerarla a la hora de realizar un chequeo del estado del aceite.

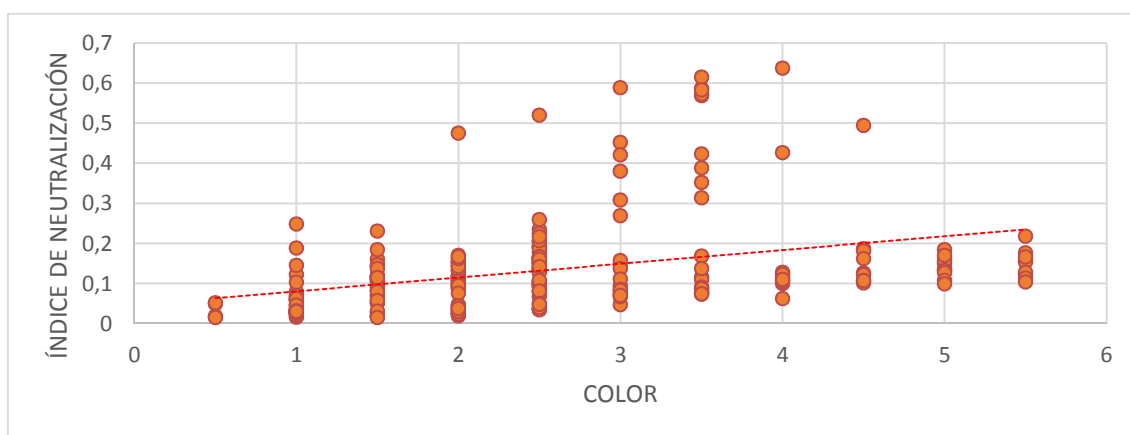


Ilustración 15 Correlación Acidez / Color en aceites minerales

En los aceites sintéticos obtenemos los siguientes resultados:

	INDICE NEUTRALIZACION	CONTENIDO EN AGUA	TAN δ
CONTENIDO EN AGUA	0,20		
TANGENTE DELTA	0,23	0,05	
TENSIÓN DE RUPTURA	-0,19	0,07	0,37

Tabla 22 Estudio de correlación entre indicadores FQ de ésteres sintéticos

Este tipo de aceites no presenta grandes variaciones de color cuando se degrada por lo que no se incluye en el estudio de correlación ya que no presenta resultados que faciliten el control del estado del éster sintético.

- Correlación Tensión de ruptura / Tangente δ

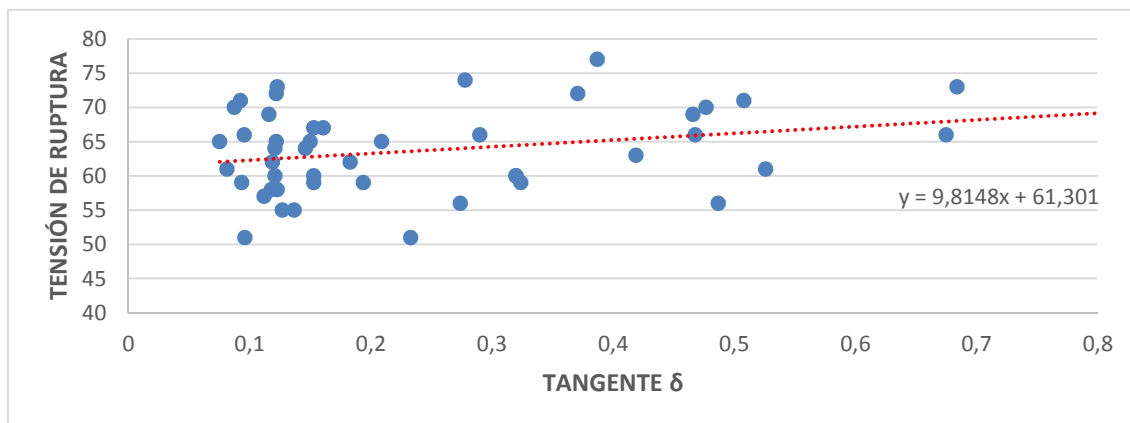


Ilustración 16 Correlación Tensión de ruptura / Factor de disipación dieléctrica en ésteres sintéticos

- Correlación Tangente δ / Acidez

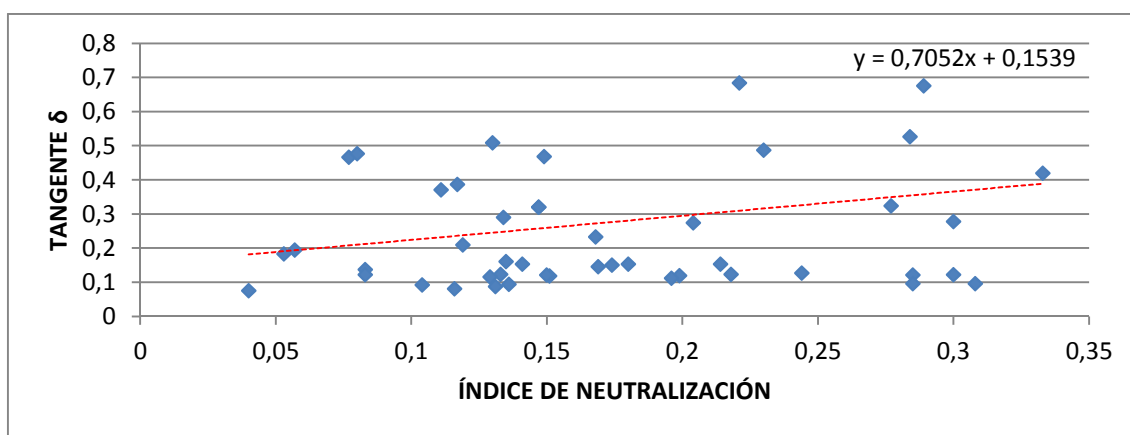


Ilustración 17 Correlación Factor de disipación dieléctrica / Índice de neutralización en ésteres sintéticos



CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Los transformadores de tracción se encuentran sometidos a unas condiciones mucho más duras que los transformadores de potencia convencionales. Esto es debido a que se encuentran en movimiento a la hora de trabajar, con sus consecuentes vibraciones; y su geometría es mucho más reducida, lo que limita el espacio para refrigerar los componentes.

La creación de unas normas específicas posibilitaría la recogida y análisis de los datos en función de la actividad de cada máquina y se podría averiguar qué factores son los que antes contaminan el aceite y cómo prevenirlo. Estas medidas ahorrarían una cantidad muy elevada de dinero así como un aumento en la vida útil tanto de los aceites como de los transformadores de tracción.

A continuación se proponen los nuevos valores de referencia que se asemejan con mayor certeza a las condiciones nominales a las que están sometidas estas máquinas.

- Indicadores físico-químicos.

FQ	MANTENIMIENTO		
	ACEITES MINERALES		
	BUENO	REGULAR	MALO
ASPECTO	Limpio		Turbio
COLOR	4,5	4,5-5	5
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,22	0,22-0,42	0,42
CONTENIDO EN AGUA	30	30-40	40
FACTOR DE DISIPACIÓN DIELÉCTRICA	0,15	0,15-0,4	0,4
TENSIÓN DE RUPTURA	40	40-30	30

Tabla 23 Nuevos valores de referencia FQ en aceites minerales

Se establece nuevo valor de referencia para el color y se modifican los valores de referencia de la acidez y el factor de disipación dieléctrica, ambos con un $fds \approx 2$.

FQ	MANTENIMIENTO		
	ÉSTERES SINTÉTICOS		
	BUENO	REGULAR	MALO
ASPECTO	Limpio		Turbio
COLOR	1,5	1,5-2	2
ÍNDICE NEUTRALIZACIÓN	0,15	0,15-0,35	0,35
CONTENIDO EN AGUA	100	100-150	150
FACTOR DE DISIPACIÓN DIELÉCTRICA	0,4	0,4-0,8	0,8
TENSIÓN DE RUPTURA	50	50-40	40

Tabla 24 Nuevos valores de referencia FQ en ésteres sintéticos

Se establece un nuevo valor para el indicador de color aunque, como ya se comentó con anterioridad, esta característica de los éster no arroja mucha información salvo que exista una anomalía severa. Por otra parte, se modifican los valores de referencia de la acidez, el contenido en agua, la $\tan \delta$ y la tensión de ruptura adecuándose a la peculiaridad de este tipo de transformadores y asumiendo un $\text{fds} \approx 2$.

- **Indicadores de contenido en gases.**

CONTENIDO EN GASES	MANTENIMIENTO		
	ACEITES MINERALES		
	BUENO	REGULAR	MALO
H ₂	20	20-50	50
CO	200	200-300	300
CO ₂	2000	2000-3500	3500
CH ₄	100	100-150	150
C ₂ H ₆	400	400-500	500
C ₂ H ₄	50	50-400	400
C ₂ H ₂	2	2-20	20

Tabla 25 Nuevos valores de referencia de contenido en gases en aceites minerales

En los aceites minerales, se establecen unos valores de referencia acordes a los resultados del estudio realizado y manteniendo un factor de seguridad similar al existente para cada indicador.

Los aceites sintéticos dan unos valores muy dispares respecto a la norma por lo que no es posible obtener unos nuevos valores de referencia para transformadores de tracción. A esto hay que sumarle el número de ensayos escasos que no permiten desmentir la norma.

- Indicadores de contenido en furanos.

CONTENIDO EN FURANOS	MANTENIMIENTO		
	ACEITES MINERALES		
	BUENO	REGULAR	MALO
5-HMF	0,1	0,1-0,2	0,2
2-FAL	1,2	1,2-1,9	1,9
2-ACF	0,05	0,05-0,1	0,1
FENOL	3,5	3,5-4	4

Tabla 26 Nuevos valores de referencia de contenido en furanos en aceites minerales

Dado que no hay referencias a cerca del contenido normal en furanos, se establecen los valores obtenidos en el estudio como valores de referencia.

CONTENIDO EN FURANOS	MANTENIMIENTO		
	ÉSTERES SINTÉTICOS		
	BUENO	REGULAR	MALO
2-FAL	0,01	0,01-0,02	0,02
2-ACF	0,04	0,04-0,09	0,09
FENOL	0,1	0,1-0,3	0,3

Tabla 27 Nuevos valores de referencia de contenido en furanos en ésteres sintéticos

Los ésteres sintéticos no presentan apenas variación por lo que no se puede ver el estado real del aceite de forma fehaciente.



6.1. MÉTODOS PARA EL MANTENIMIENTO DE ACEITES

A través del estudio de correlación se ha contemplado un método para reducir el número de muestras necesario para comprobar el estado del aceite usado en un transformador de tracción.

Los aceites minerales presentan el mayor problema en la aparición de agua por lo que es el indicador a seguir con mayor importancia. Este es un indicador fácil de medir y que no requiere una gran cantidad de aceite para la muestra por lo que se puede hacer un seguimiento preventivo más exhaustivo sin que la máquina resienta esta disminución de lubricante. Además, este indicador muestra una fuerte correlación con la tensión de ruptura por lo que nos permite prever su valor sin necesidad de realizar un ensayo, con el consecuente ahorro de tiempo y dinero. También muestra una débil correlación con el índice de neutralización que puede ser útil para la valoración de la necesidad de analizar dicho indicador o no.

Por otra parte, el factor de disipación dieléctrica es otro de los indicadores necesarios de analizar y que está muy sujeto al color del aceite.

Si bien, con los datos obtenidos se propone un nuevo método de mantenimiento que consiste en la reducción de ensayos rutinarios a la hora de evaluar el estado del aceite. Basta con realizar únicamente dos ensayos: contenido en agua y tangente δ . Además, si los resultados de contenido en agua no fuesen aceptables, se analizaría el nivel de acidez para asegurar el correcto estado del aceite.

$$TR = -0,75 \cdot CA + 78$$

$$C = 0,07 \cdot FdD - 0,1$$

Los aceites sintéticos tienen como indicador más desfavorable el factor de disipación dieléctrica. Este parámetro muestra una correlación con la tensión de ruptura y algo más débil pero significativa con la acidez del aceite según se muestra en la Tabla 22. Este resultado es muy positivo pues significa que con verificar el factor de disipación dieléctrica y el contenido en agua podemos tener más o menos controlado su estado sin tener que hacer ningún tipo de muestreo que pueda alterar más a la máquina y reduciendo los costes de los mismos.

$$TR = 9,8 \cdot FdD + 61$$

$$FdD = 0,7 \cdot IN + 0,15$$

6.. PROPUESTAS

- **Nuevo calendario de mantenimiento preventivo.**

Con el fin de mantener en el mejor estado posible de funcionamiento y minimizar las pérdidas por averías de los transformadores se propone un sistema de revisión periódica basado en los kilómetros en servicio y en tiempo. Esto significa que se debe realizar un mantenimiento periódico cada 50.000 km o un año, lo que antes suceda.

La realización de un mantenimiento periódico permite un análisis de evolución en el tiempo donde se establezcan unos límites de crecimiento normales de cada uno de los indicadores para su posterior estudio así como poder prever y adelantarnos a sucesos futuros con el consiguiente ahorro de tiempo e incidencias.

Actualmente la norma UNE-EN 60422 marca el período de muestreo cada 2-6 años para los ensayos tipo 1 en transformadores de clase C con aceites minerales. En el caso de los ésteres sintéticos se establecen antes de la puesta en marcha, a los doce meses y posteriormente cada 5 años. También añaden en ambos casos que estos períodos son una guía general puesto que es imposible redactar un protocolo genérico que obedezca a las condiciones de trabajo de todas las máquinas.

El mantenimiento debe basarse en el propuesto en el apartado anterior, siendo suficiente en el caso de obtener unos resultados favorables. En caso contrario, o cada 3 años en el caso de no haber surgido problemas antes, se realizará un estudio exhaustivo con el análisis de todos los indicadores.

- **Protocolo de actuación en función de los resultados obtenidos en los análisis.**

Se propone un nuevo protocolo de actuación y procedimientos a seguir en el análisis y estudio de las muestras de aceite:

1. Toma de muestras de aceite: las muestras las debe tomar personal cualificado y de acuerdo a las normas. En la medida de lo posible, las muestras deben recogerse en las condiciones normales de trabajo o muy poco después de la parada del equipo.
2. Análisis de las muestras en el laboratorio: tras recibir las muestras se procede a su análisis y obtención de resultados.
3. Comparación de resultados con los valores de referencia: una vez obtenidos los resultados, se procede a su comparación con los valores de referencia.
 - a. Resultados > Valor de referencia → Verificar resultados
 - i. Resultados < P95 (límite superior): reducir el tiempo de mantenimiento y valorar realizar un tratamiento del aceite a medio plazo o en la siguiente revisión.
 - ii. Resultados > P95 (límite superior): valorar la realización de un tratamiento de regeneración/reacondicionamiento y/o sustituir el aceite en caso de no ser rentable el tratamiento.
 - b. Resultados < Valor de referencia → Continuar con el calendario de revisiones periódicas establecido.

REFERENCIAS

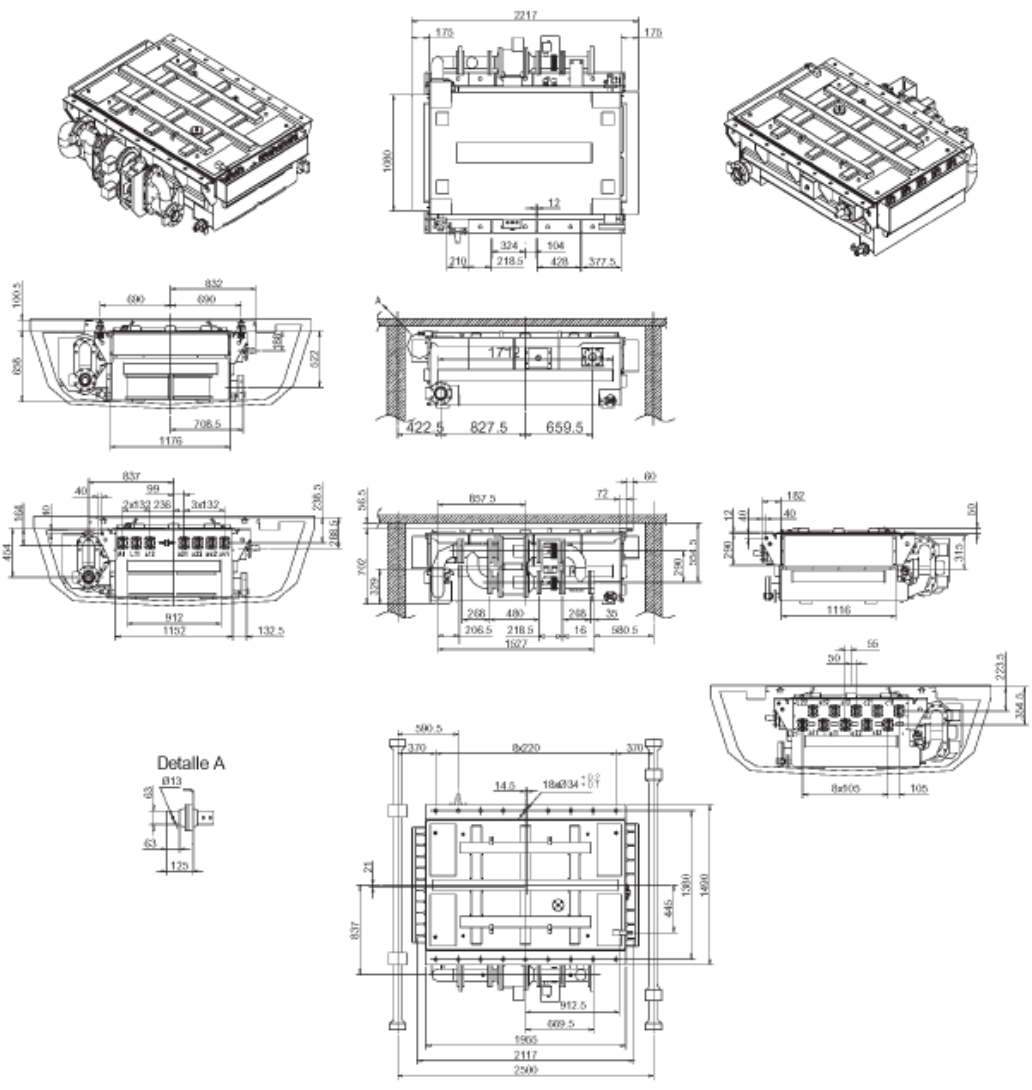
1. UNE-EN 60296 Diciembre 2004.- Fluidos para aplicaciones electrotécnicas. Aceites minerales aislantes nuevos para transformadores y aparata de conexión. AENOR
2. UNE-EN 60422 Marzo 2007.- Aceites minerales aislantes en equipos eléctricos. Líneas directrices para su supervisión y mantenimiento (IEC 60422:2005). AENOR
3. UNE-EN 60422 Mayo 2013.- Aceites minerales aislantes en equipos eléctricos. Líneas directrices para su supervisión y mantenimiento. AENOR
4. UNE-EN 61099 Mayo 2011.- Líquidos aislantes. Especificaciones para ésteres orgánicos sintéticos nuevos para uso eléctrico. AENOR
5. UNE-EN 61203 Noviembre 1996.- Ésteres orgánicos sintéticos para usos eléctricos. Guía para el mantenimiento de ésteres para uso en transformadores. AENOR
6. UNE-EN 62770 Abril 2014.- Fluidos para aplicaciones electrotécnicas. Ésteres naturales nuevos para transformadores y equipos eléctricos similares. AENOR
7. UNE-EN 60599 Febrero 2000.- Equipos eléctricos impregnados en aceite en servicio. Guía para la interpretación de los análisis de gases disueltos y libres. AENOR
8. IEC 60599 Ed. 3. August 2015.- Mineral oil-filled electrical equipment in service. Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis. CENELEC
9. IEEE Std C57.155.2014.- IEEE Guide for interpretation of gases generated in natural ester and synthetic ester-immersed transformers. IEEE Power and energy society, sponsored by the transformers committee.
10. *"Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite: Situación actual. Parte II. Correlación entre resultados de ensayos físico-químicos."* IEEE Latin America Transactions, vol. 5, no. 8, December 2007. W. Flores, E. Mombello, Senior member IEEE, G. Rattá, Senior member IEEE, J. A. Jardini, Fellow IEEE.
11. *"Statistical study of the typical concentrations of furanic compounds in power transformers in Spain."* ARWtr2013. Domingo Urquiza (CEIS), J. Carlos Burgos (Departamento de ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid), Belén García (Departamento de ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid).



12. *“DGA: Reference values from Power Transformers in Spain.”* Domingo Urquiza (CEIS), J. Carlos Burgos (Universidad Carlos III de Madrid), Belén García (Carlos III de Madrid), J. L. Pérez (Universidad Carlos III de Madrid).
13. *“Máquinas Eléctricas”*. Stephen J. Chapman, Ed. 4. ISBN: 970-10-4947-0



ANEXO I: DIMENSIONES DEL TRANSFORMADOR





ANEXO II: FICHAS TÉCNICAS ACEITES



ACEITE MINERAL 1

Nytro Taurus

PROPIEDADES	UNIDADES	MÉTODO	LÍMITES ESPECIFICADOS		VALORES TÍPICOS
			MIN	MAX	
1 - Función					
Viscosidad, 40 °C	mm ² /s	ISO 3104		12.0	10.0
Viscosidad, -30 °C	mm ² /s	ISO 3104		1800	1000
Punto de Fluidez	°C	ISO 3016		-40	-48
Contenido en agua	mg/kg	IEC 60814		30	<20
Tensión de ruptura					
- Antes de tratamiento	kV	IEC 60156	30		40-60
- Después de tratamiento	kV		70		>70
Densidad, 20 °C	kg/dm ³	ISO 12185		0.895	0.870
DDF (TAN Delta) a 90 °C		IEC 60247		0.005	<0.001
2 - Refino/estabilidad					
Apariencia		IEC 60296	Transparente, libre de sedimentos		cumple
Acidez	mg KOH/g	IEC 62021		0.01	<0.01
Tensión interfacial	mN/m	EN 14210	40		45
Azufre corrosivo		DIN 51353	no corrosivo		no corrosivo
Azufre potencialmente corrosivo		IEC 62535	no corrosivo		no corrosivo
Azufre corrosivo		ASTM D 1275 B	no corrosivo		no corrosivo
DBDS	mg/kg	IEC 62697-1	no detectable	no detectable	no detectable
Antioxidante	Peso %	IEC 60666		no detectable	no detectable
Aditivos pasivadores de metal	mg/kg	IEC 60666	no detectable	no detectable	no detectable
Contenido de 2-Furfural y compuestos relacionados	mg/kg	IEC 61198		0.05	<0.05
Contenido azufre	%	IEC 60590			9
3 - Rendimiento					
Estabilidad a la oxidación a 120 °C,164 h		IEC 61125 C			
Acidez total	mg KOH/g			1.2	0.50
Lodos	Peso %			0.8	0.15
DDF (TAN Delta) a 90 °C				0.500	0.080
4 - Salud, seguridad y medio ambiente					
Punto de inflamación, PM	°C	ISO 2719	135		152
PCA	Peso %	IP 346		3	<3
PCB		IEC 61619	no detectable		no detectable

Nytro Taurus es un aceite aislante no inhibido, que cumple con la especificación General IEC 60296 Ed.4 (2012).

Aceite aislante severamente hidrotratado
Fecha de Expedición: 2012-04-01





ACEITE MINERAL 2



Shell DIALA S2 ZU-I

(Antigua denominación Shell Diala Oil B)

Aceite dieléctrico no inhibido de altas prestaciones

Shell DIALA S2 ZU-I es un aceite dieléctrico no inhibido fabricado a partir de aceites base altamente refinados. Posee una alta estabilidad frente a la oxidación, una buena rigidez dieléctrica y unas excelentes propiedades a bajas temperaturas (no requiere la utilización de depresores del punto de congelación).

- **Muy buenas características de transmisión de calor.** La adecuada fluidez de Shell DIALA S2 ZU-I asegura una adecuada transferencia de calor dentro del transformador, incluso en condiciones de arranque a temperaturas muy bajas.

Aplicaciones

- **Transformadores industriales:** Aceite aislante para todo tipo transformador de potencia y distribución
- **Aparellaje eléctrico:** En muchos tipos de componentes eléctricos como rectificadores, interruptores, etc.

Propiedades

- **Excepcionales propiedades anticorrosivas.** Shell Diala S2 ZU-I ha superado los severos ensayos establecidos para la evaluación del fenómeno de "Azufre corrosivo" y se encuentra totalmente exento de agentes o aditivos pasivantes de cobre y otros metales.
- **Excelente estabilidad frente a la oxidación.** Shell DIALA S2 ZU-I posee una resistencia natural al envejecimiento y ha sido diseñado para ser utilizado como aceite de llenado 'de por vida' de transformadores.
- **Muy buena rigidez dieléctrica.** Shell DIALA S2 ZU-I sobrepasa los requerimientos de las especificaciones más exigentes.
- **Muy buenas propiedades a bajas temperaturas.** La especial selección de los aceites base empleados en el Shell DIALA S2 ZU-I le proporcionan superiores prestaciones a bajas temperaturas, sin la necesidad de añadir aditivos especiales en su formulación.

Especificaciones y aprobaciones

IEC 60296 (2003) Tabla 2 / Clase "U"

(Aceites para transformadores, no inhibidos)

Los aceites Shell DIALA S2 ZU-I no contienen policlorobifenilos (PCB) ni policloroterfenilos (PCT).

Precauciones en el almacenamiento

Las propiedades eléctricas de los aceites dieléctricos se alteran fácilmente con la contaminación externa, como humedad, partículas, fibras, etc. De esta forma, es fundamental que los aceites dieléctricos se conserven limpios y secos; para ello, los contenedores de aceite deben estar bien cerrados y almacenarse en lugares alejados de inclemencias meteorológicas.

Seguridad e Higiene

Los aceites Shell DIALA S2 ZU-I no producen efectos nocivos cuando se utilizan en las aplicaciones recomendadas y se respetan unas adecuadas prácticas de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Para mayor información sobre este particular, se recomienda consultar la Ficha de Datos de Seguridad (FDS) del producto, disponible a través del Centro de Servicio al Cliente y de la Red Comercial de Shell España, S.A.

Características técnicas medias

Shell Diala S2 ZU-I

Característica	Método	IEC 60296	Valores típicos
Apariencia	IEC 60296	Claro, sin depósitos	Cumple
Densidad a 20°C, kg/m ³	ISO 3695	< 895	881
Viscosidad cinemática a 40°C, mm ² /s	ISO 3104	12 máx.	10
Viscosidad cinemática a -30°C, mm ² /s	ISO 3104	1800 máx.	1400
Punto de inflamación, V.C., °C	ISO 2719 / ASTM D 93	135 min.	140
Punto de congelación, °C	ISO 3016	- 40° máx.	- 57
Acidez, mg KOH/g	IEC 62021-1	0,01 máx.	< 0,01
Azufre corrosivo	DIN 51 353 IEC 62535 ASTM D 1275B	No corrosivo	No corrosivo
Rigidez dieléctrica, kV	IEC 60156	min. 30 min. 70	> 30 > 70
- Aceite nuevo sin tratar			
- Aceite nuevo secado y filtrado			
Factor de disipación dieléctrica a 90°C, tg δ	IEC 60247	≤ 0,005	0,002
- Aceite nuevo secado y filtrado			
Ensayo estabilidad a la oxidación (164h a 120°C) – Clase "U"	IEC 61125 (Método C)	1,2 máx. 0,8 máx. 0,5 máx.	0,90 0,30 0,10
- Acidez total, mg KOH/g			
- Depósitos, % m/m			
- tg δ a 90°C			

G6/7A 03/10

Shell España S.A.
 Río Bullaque, 2
 28034 Madrid
 Centro de Servicio al Cliente: 902 40 16 16





ACEITE MINERAL 3

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 1 de 9

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 1 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

Esta FDS cumple con la legislación española, según la fecha de revisión arriba mencionada.

PRODUCTO

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Descripción del Producto: Aceites Base Tratados Severamente

Código de Producto: 201560D01025, 702290-01

Uso previsto: Material descargar/ aislante

IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA

Suministrador: EXXONMOBIL LUBRICANTS & SPECIALTIES EUROPE, A DIVISION OF EXXONMOBIL PETROLEUM & CHEMICAL, BVBA

POLDERDIJKWEG

B-2030 Antwerpen

Bélgica

Teléfono de Emergencia 24 hrs

Información Técnica del Producto

e-mail

(+34) 91 300 93 30

900 810 356 (ESPAÑA) / (+34) 91 270 25 86

SDS-IBERIA@EXXONMOBIL.COM

SECCIÓN 2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Este producto no está considerado como peligroso de acuerdo con la directiva 1999/45/EU de preparados peligrosos de la UE (ver sección 15 de la FDS (SDS- siglas en inglés)) y el R.D. 255/2003 de 28 de Febrero.

PELIGROS PARA LA SALUD

Si se traga, puede ser aspirado y puede causar daño pulmonar. Puede ser irritante para los ojos, nariz, garganta y pulmones. El contacto frecuente y prolongado puede desengrasar y secar la piel, lo que produce molestias y dermatitis.

Nota: Este producto no debería usarse para otro propósito distinto al uso previsto en la sección 1 sin el asesoramiento de un experto. Estudios sobre la salud han demostrado que la exposición química puede causar riesgos potenciales en la salud humana que pueden variar de una persona a otra.

SECCIÓN 3 COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

Substancia(s) compleja(s) o substancia(s) peligrosa(s) no reportables.

SECCIÓN 4 MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INHALACIÓN

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 2 de 9

Alejarse de nuevas exposiciones. Quienes proporcionen asistencia, deben evitar su propia exposición y la de otras personas. Usar protección respiratoria apropiada. Si se produce irritación de las vías respiratorias, mareo, náuseas o pérdida de conciencia, busquen asistencia médica inmediata. Si se ha producido parada respiratoria, ayude a ventilar los pulmones con un dispositivo mecánico o realice la maniobra de reanimación boca a boca.

CONTACTO CON LA PIEL

Lave las áreas de contacto con agua y jabón. Quítese la ropa contaminada. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

CONTACTO OCULAR

Lave con abundante agua. Si aparece irritación, busque asistencia médica.

INGESTIÓN

Solicite atención médica inmediata. No induzca el vómito.

NOTA PARA EL MÉDICO

Si se ingirió, el material puede ser aspirado dentro los pulmones y causar una neumonitis química. Tratar de manera adecuada.

SECCIÓN 5	MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS
------------------	--

MEDIOS DE EXTINCIÓN

Medios de extinción apropiados: Utilizar agua nebulizada, espuma, producto químico seco o dióxido de carbono (CO₂) para extinguir las llamas.

Medios de Extinción Inapropiados: Chorros directos de agua.

LUCHA CONTRA INCENDIOS

Instrucciones de Lucha contra Incendios: Evacúe el área. Evítese el escape/derrame desde el sitio donde se controla el fuego o la dilución en las corrientes/flujos entrantes, alcantarillados, o suministro de agua potable. Los bomberos deben utilizar un equipo de protección estándar, y en el caso de espacios cerrados, equipo de respiración autónomo (SCBA - siglas en inglés). Utilice un nebulizador de agua para enfriar las superficies expuestas al fuego y para proteger al personal.

Productos de Combustión Peligrosos: Humos, Gases, Aldehídos, Óxidos de azufre, Productos de combustión incompleta, Óxidos de Carbono

PROPIEDADES DE INFLAMABILIDAD

Punto de Inflamación [Método]: >135C (275F) [ASTM D-92]

Límites de Inflamabilidad (Volumen aproximado en el aire %): Límite de Exposición Inferior (LEL): 0.9

Límite de exposición superior (UEL): 7.0

Temperatura de Autoignición: N/D

SECCIÓN 6	MEDIDAS A ADOPTAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL
------------------	--

PROCEDIMIENTOS DE NOTIFICACIÓN

En el caso de derrame o fuga accidental, notificarlo a las Autoridades pertinentes de acuerdo con las

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 3 de 9

regulaciones aplicables.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Evite el contacto con el producto derramado. Debido a la toxicidad o inflamabilidad del producto, advierta o evacúe a las personas que se encuentren en las proximidades o a favor del viento si es necesario. Consulte la Sección 5 sobre información sobre lucha contra incendios. Consulte en la Sección sobre Identificación de Peligros la información acerca de Peligros Importantes. Consulte en la Sección 4 las recomendaciones sobre Primeros Auxilios. Consulte en la Sección 8 la información sobre el Equipo de Protección Personal.

TRATAMIENTO DEL DERRAME

Derrame en Tierra: Detenga la fuga si puede hacerlo sin riesgo. Recupere el producto bombeando o utilizando un absorbente adecuado.

Derrame en Agua: Detenga la fuga si puede hacerlo sin riesgo. Limite el derrame inmediatamente con barreras flotantes. Advierta a las demás embarcaciones. Elimínelo de la superficie recogiendo los derrames o utilizando los absorbentes adecuados. Antes de utilizar dispersantes, solicite el asesoramiento de un especialista.

Las recomendaciones sobre derrame en agua y derrame en tierra se basan en el escenario más probable para este producto; de cualquier manera, las condiciones geográficas, el viento, la temperatura, (y en el caso de derrame en agua) la dirección y la velocidad de las olas pueden influir de gran manera en la acción correcta a desarrollar. Por esta razón, consúltese a expertos locales. Nota: Las reglamentaciones locales pueden prescribir o limitar la acción a realizar.

PRECAUCIONES MEDIOAMBIENTALES

Derrames grandes: forme un dique a bastante distancia del líquido derramado con el fin de recuperarlo y eliminarlo posteriormente. Evite la entrada en conductos de agua, red de alcantarillado, sótanos o áreas cerradas.

SECCIÓN 7

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

MANIPULACIÓN

Evitar el contacto con la piel. Evite que se produzcan pequeños derrames y fugas para prevenir el riesgo de resbalamiento.

Acumulador estático: Este producto es un acumulador estático.

ALMACENAMIENTO

No almacene en recipientes abiertos o sin etiquetar.

SECCIÓN 8

CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Límites/Estándares de Exposición para los materiales que se puedan formar por manipulación de este producto Cuando puede haber neblina/aerosoles, se recomienda lo siguiente: 5 mg/m³ - ACGIH TLV; 10 mg/m³ - ACGIH STEL.

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 4 de 9

Nota: La información acerca de los procedimientos de control recomendados pueden obtenerse de la(s) agencia(s)/institución(es) siguientes:

Por favor, traduzca aquí su Agencia Nacional.

CONTROLES DE INGENIERÍA

El nivel de protección y los tipos de controles necesarios variarán dependiendo de las condiciones potenciales de exposición. Medidas de control a considerar:

No existen requisitos especiales bajo condiciones normales de uso y con ventilación adecuada.

PROTECCIÓN PERSONAL

La selección del equipo de protección personal varía en base a las condiciones de exposición posibles tales como las aplicaciones, prácticas de manejo, concentración y ventilación. La información sobre la selección del equipo de protección para usar con este material, como se proporciona más abajo, se basa en el uso normal intencionado.

Protección Respiratoria: Si los controles de ingeniería no mantienen las concentraciones de contaminante en aire a un nivel adecuado para proteger la salud del trabajador, puede ser apropiado un respirador autorizado. Si es aplicable, el mantenimiento, uso y selección del respirador debería realizarse de acuerdo a los requisitos reglamentarios. El tipo de respiradores a considerarse para este material incluyen:

No existen requisitos especiales bajo condiciones normales de uso y con ventilación adecuada.

Para altas concentraciones en aire, usar un respirador de suministro de aire autorizado, que trabaje en modo presión positiva. Pueden ser apropiados respiradores de suministro de aire con una botella de seguridad cuando los niveles de oxígeno sean inapropiados, los medios o métodos de aviso de gas/vapor sean escasos, o si la capacidad del filtro de purificación del aire puede ser excedida.

Protección de Manos: Cualquier información específica facilitada sobre guantes, está basada en la documentación publicada y datos de los fabricantes de guantes. La idoneidad de los guantes y el tiempo de ruptura variarán dependiendo de las condiciones específicas de uso. Contactar con el fabricante de guantes para advertencias específicas en cuanto a la selección de guantes y tiempos de ruptura para sus condiciones de uso. Revisar y reemplazar aquellos guantes dañados o estropeados. Los tipos de guantes a considerar para este material incluyen:

Si es probable que el contacto sea prolongado o repetido, se recomienda usar guantes resistentes a productos químicos. Si el contacto con los antebrazos es probable, use guantes largos. Nitrilo, Viton, EN 420 y EN 374 estándares CEN proporcionan listas y requisitos generales sobre tipos de guantes.

Protección Ocular: Si el contacto es probable, se recomienda utilizar gafas de seguridad con protecciones laterales.

Protección de la piel y del cuerpo: Toda la información proporcionada sobre ropa específica se basa en la literatura publicada o en los datos facilitados por el fabricante. Los tipos de ropa a considerar para este material incluyen:

Si es probable un contacto prolongado o repetido, se recomienda ropa resistente a petróleo y productos químicos.

Medidas de Higiene Específicas: Obsérvense siempre medidas buenas de higiene personal, tales como lavarse después de la manipulación del producto y antes de comer, beber, y/o fumar. Rutinariamente, lavar la ropa y el equipo de protección para eliminar los contaminantes. Desechar la ropa y el calzado contaminado que no puede limpiarse. Mantener/Conservar las buenas prácticas.

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 5 de 9

CONTROLES MEDIOAMBIENTALES

Ver Secciones 6, 7, 12, 13.

SECCIÓN 9

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Se muestran más abajo las propiedades típicas químicas y físicas. Consulte al proveedor que se indica en la sección 1 para información adicional.

INFORMACIÓN GENERAL

Estado Físico: Líquido

Color: Ámbar

Olor: Característico

Umbral de Olor: N/D

INFORMACIÓN IMPORTANTE SOBRE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE

Densidad Relativa (a 15 C): 0.88

Punto de Inflamación [Método]: >135C (275F) [ASTM D-92]

Límites de Inflamabilidad (Volumen aproximado en el aire %): Límite de Exposición Inferior (LEL): 0.9

Límite de exposición superior (UEL): 7.0

Temperatura de Autoignición: N/D

Punto de Ebullición / Rango: > 316C (600F)

Densidad de Vapor (Aire = 1): > 2 a 101 kPa

Presión de Vapor: < 0.013 kPa (0.1 mm Hg) a 20 C

Velocidad de Evaporación (N-Butil Acetato = 1): N/D

pH: N/A

Log Pow (n-Octanol/Coeficiente de reparto de agua): > 3.5

Solubilidad en Agua: Despreciable

Viscosidad: 9.5 cSt (9.5 mm²/s) a 40 C

Propiedades Oxidantes: Ver Secciones 3,15,16.

OTRA INFORMACIÓN

Punto de Congelación: N/D

Punto de Fusión: N/A

Punto de Fluidez: -40°C (-40°F)

Extracto DMSO (sólo aceite mineral), IP-346: < 3 % en peso

SECCIÓN 10

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD: El producto es estable bajo condiciones normales.

CONDICIONES A EVITAR: Calor excesivo. Fuentes de ignición de alta energía.

MATERIALES A EVITAR: Oxidantes fuertes

PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS: Producto que no se descompone a temperatura ambiente.

POLIMERIZACIÓN PELIGROSA: No ocurrirá.

SECCIÓN 11

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 6 de 9

Ruta de Exposición	Conclusiones / Comentarios
INHALACIÓN	
Toxicidad (Rata): LC50> 5000 mg/m ³	Mínimamente tóxicos. En base a los datos de pruebas para productos estructuralmente similares.
Irritación: Sin datos finales.	Las elevadas temperaturas o la acción mecánica pueden formar vapores, neblina, o humos que pueden ser irritantes para los ojos y el tracto respiratorio. En base a evaluaciones de los componentes.
Ingestión	
Toxicidad (Rata): LD50> 5000 mg/kg	Mínimamente tóxicos. En base a los datos de pruebas para productos estructuralmente similares.
PIEL	
Toxicidad (conejo): LD50> 5000 mg/kg	Mínimamente tóxicos. En base a los datos de pruebas para productos estructuralmente similares.
Irritación (conejo): Datos disponibles.	Irritación insignificante de la piel a temperatura ambiente. En base a los datos de pruebas para productos estructuralmente similares.
OJO	
Irritación (conejo): Datos disponibles.	Puede causar una leve molestia de poca duración en los ojos. En base a los datos de pruebas para productos estructuralmente similares.

EFFECTOS CRÓNICOS/OTROS

Para el producto en sí mismo:

El contacto con la piel de forma repetida y/o prolongada con materiales de baja viscosidad puede desgrasar la piel dando lugar a una posible irritación y dermatitis. Pequeñas cantidades de líquido aspirado por los pulmones durante la ingestión o por vómito pueden provocar neumonitis química o edema pulmonar.

Aceite base muy refinado: No carcinógeno en estudios con animales. Material representativo que pasa el IP-346, la prueba de Ames modificada y/o otras pruebas. Estudios dérmicos y de inhalación mostraron efectos mínimos; infiltración no específica de pulmón de células inmunes, deposición de aceite y formación mínima de granulomas. No sensibilizante en animales de prueba.

Contiene:

Aceite base muy refinado: No carcinógeno en estudios con animales. Material representativo que pasa el IP-346, la prueba de Ames modificada y/o otras pruebas. Estudios dérmicos y de inhalación mostraron efectos mínimos; infiltración no específica de pulmón de células inmunes, deposición de aceite y formación mínima de granulomas. No sensibilizante en animales de prueba.

Información adicional se encuentra disponible si se solicita.

SECCIÓN 12 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

La información proporcionada se basa en datos disponibles para el producto, los componentes del producto y materiales similares.

ECOTOXICIDAD

Material -- No es de esperar que sea nocivo para los organismos acuáticos.

MOVILIDAD

Componente de Aceite Base -- Este producto es de baja solubilidad y flota, y se prevé que emigre del agua a tierra firme. Se espera que se distribuya en el sedimento y en los sólidos de las aguas residuales.

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 7 de 9

PERSISTENCIA Y DEGRADABILIDAD

Biodegradación:

Componente de Aceite Base -- Se prevé que sea inherentemente biodegradable

POTENCIAL DE BIOACUMULACIÓN

Componente de Aceite Base -- Posee potencial para bioacumularse, sin embargo, el metabolismo o las propiedades físicas pueden reducir la bioconcentración o limitar la biodisponibilidad.

SECCIÓN 13

CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Las recomendaciones sobre la eliminación son en base al producto tal y como es suministrado. La eliminación debe realizarse de acuerdo con las leyes y regulaciones vigentes y las características del producto en el momento de la eliminación.

RECOMENDACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Producto adecuado para combustión en un quemador cerrado controlado mediante el valor calorífico o por eliminación mediante incineración supervisada a altas temperaturas para prevenir la formación de productos de combustión indeseados.

INFORMACIÓN REGLAMENTARIA SOBRE LA ELIMINACIÓN

Código Europeo de Residuo: 13 02 05

NOTA: Estos códigos se asignan a partir de los usos más comunes de este producto y pueden no reflejar el resultado de contaminantes procedentes del uso real. Los productores de residuos necesitan evaluar el proceso usado realmente cuando se genera el residuo y sus contaminantes, y asignar el(los) código(s) de eliminación de residuo apropiado(s).

Este producto se considera como residuo peligroso conforme a la directiva 91/689/EEC sobre residuos peligrosos, y está sujeta a las disposiciones de esa directiva, a menos que se aplique el artículo 1(5) de la misma.

Aviso de peligro de envase vacío. Advertencia sobre contenedores vacíos (si aplica): Los contenedores vacíos pueden contener residuos y pueden ser peligrosos. No proceda a rellenar o limpiar los contenedores sin las instrucciones adecuadas. Los bidones deben vaciarse completamente y almacenarse de modo seguro hasta que sean convenientemente reacondicionados o eliminados. Los contenedores vacíos deben ser reciclados, recuperados o eliminados por empresas cualificadas o autorizadas para ello y de acuerdo con la reglamentación vigente. NO PRESURIZAR, CORTAR, SOLDAR, ESTAÑAR, PERFORAR, TRITURAR O EXPONER ESTOS CONTENEDORES AL CALOR, LLAMA, CHISPAS, ELECTRICIDAD ESTÁTICA U OTRAS FUENTES DE IGNICIÓN. PUEDEN EXPLOSIONAR Y CAUSAR LESIONES O LA MUERTE.

SECCIÓN 14

INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

TIERRA (ADR/RID) : No regulado para el transporte terrestre

VÍA DE NAVEGACIÓN INTERIOR (ADNR) : No regulado para el transporte de navegación Interior

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 8 de 9

MAR (IMDG) : No regulado para el transporte marítimo de acuerdo con el Código IMDG

AIRE (IATA) : No regulado para el transporte aéreo

SECCIÓN 15

INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Producto no peligroso según las directivas de preparados/sustancias peligrosas de la UE , así como el R.D. 255/2003 de 28 de Febrero y el R.D 363/1995 de 10 de Marzo (con sus modificaciones posteriores).

ETIQUETADO DE LA UE: No regulado de acuerdo con las Directivas de la CE.

Aviso de Seguridad: S24; Evítese el contacto con la piel. S62; En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.

ESTADO REGLAMENTARIO Y LEYES Y REGULACIONES APLICABLES

Cumple con los siguientes requisitos del inventario químico nacional/internacional: AICS, IECSC, DSL, EINECS, ENCS, KECI, PICCS, TSCA

SECCIÓN 16

OTRA INFORMACIÓN

N/D = No determinado, N/A = No aplicable

ESTA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD ENGLOBA LAS SIGUIENTES REVISIONES:

Cambios de la Revisión:

Sección 04: Primeros Auxilios por Ingestión - Encabezado fue modificado.

Sección 06: Medidas de Protección fue modificado.

Sección 06: Procedimientos de Notificación - Encabezado fue modificado.

Sección 01: Código de Producto fue modificado.

Sección 11: Letalida Aguda por Ingestión - Encabezado fue modificado.

Sección 08: Protección Personal - Encabezado fue modificado.

Sección 08: Protección de las Manos fue modificado.

Sección 08: Control de Exposición - Nota fue modificado.

Sección 11: Datos de la Prueba de Letalidad Cutánea fue modificado.

Sección 11: Datos de la Prueba de Letalidad Oral fue modificado.

Sección 05: Productos de Combustión Peligrosos fue modificado.

Sección 08: Control de Exposición - Nota fue modificado.

Sección 16: Código a MHCs fue modificado.

Identificación del Peligro: Nota de Peligros fue modificado.

Sección 11: Otros Efectos sobre la Salud fue modificado.

Sección 01: Datos de Contacto de la Compañía Ordenados por Prioridad fue modificado.

Nombre del Producto: MOBILECT 39

Fecha de Revisión: 31Oct2008

Página 9 de 9

%%revision_comment%%

La información y recomendaciones contenidas en la presente son, en conocimiento y opinión de ExxonMobil, precisas y fiables a fecha de lo ocurrido. Puede ponerse en contacto con ExxonMobil con el fin de asegurarse de este documento es el más reciente disponible por parte de ExxonMobil. La información y las recomendaciones se ofrecen para la verificación y consideración por parte del usuario. Es responsabilidad de éste verificarlas como correctas y adecuadas para su uso previsto. Si el comprador reenvasa este producto, es responsabilidad del usuario asegurarse de que el envase incluye información adecuada sobre salud, seguridad y/o cualquier otro tipo de información. Debería darse avisos apropiados y procedimientos de manejo seguro a los manipuladores y usuarios. La modificación y/o alteración de este documento está estrictamente prohibida. Excepto al alcance requerido por ley, la renovación o retransmisión de este documento, por completo o de forma parcial, no está permitida. El término "ExxonMobil", es usado por conveniencia, y puede incluir cualquiera o mas de ExxonMobil Chemical Company, Exxon Mobil Corporation o cualquiera de las afiliadas en las que mantengan algún tipo de interés.

Sólo para uso interno

MHC: 2A, 0B, 0, 0, 0, 1

PPEC: C

DGN: 7082776XES (1013378)



ÉSTER SINTÉTICO

MIDEL® 7131

Hoja de Datos Nº 2

Fluido Aislante Dieléctrico Descripción general del producto

Descripción del producto

MIDEL® 7131 es un fluido aislante dieléctrico para transformadores, conmutadores de tomas y equipos eléctricos de control. MIDEL® 7131 cumple con IEC 61099:1992 "Especificaciones para esterres orgánicos sintéticos sin usar para fines eléctricos". Se clasifica como tipo T1, un éster pentaeritritol carente de halógeno.

MIDEL® 7131 es una alternativa respetuosa con el medioambiente a los fluidos tradicionales de transformadores, biodegradable inmediatamente y clasificada como "no peligroso para el agua" según Umwelt Bundes Amt (UBA) en Alemania.

El fluido de transformador MIDEL® 7131 tiene un alto punto de combustión de $317 \pm 5^\circ\text{C}$ y un valor calorífico neto bajo ($<32 \text{ MJ/kg}$) y, por tanto está clasificado como líquido de clase K3 de acuerdo con la IEC 61100. Esto, unido a sus bajo índice de calentamiento causado por su alto calor específico y conductividad térmica, dan al producto la resistencia observada a la inflamación. MIDEL® se suministra con un contenido de gas disuelto y un nivel de humedad bajos.

Áreas de aplicación

Las áreas de uso incluyen:

- transformadores de potencia de hasta 238 kV/ 135 MVA
- transformadores para postes
- transformadores de distribución en zonas urbanas y edificios
- conmutadores de tomas
- refrigeración de tiristores en electrónica de potencia

Propiedades

Además de las propiedades que se describen en IEC 61099:1992, MIDEL® 7131 se caracteriza por lo siguiente:

Compatibilidad ecológica

- inmediatamente biodegradable
- clasificado como "no peligroso para el agua", según Umwelt Bundes Amt (UBA) de Alemania
- poca presión de vapor en condiciones operativas.

Poca toxicidad aguda y crónica

- no es tóxico para la vida acuática
- no perjudicará la actividad de los lodos activados en plantas de tratamiento de aguas cloacales biológicas
- no está clasificado como peligroso.

Buenas propiedades térmicas

- coeficiente bajo de expansión térmica
- propiedades de transferencia térmica comparables a las del aceite mineral.

Excelentes propiedades dieléctricas

- alta tensión de ruptura
- poca dependencia de las propiedades dieléctricas a los efectos de la humedad.

Excelente piroresistencia

- punto de combustión elevado ($317 \pm 5^\circ\text{C}$)
- no se inflamará en caso de fallo eléctrico importante y ruptura del transformador.

Las pruebas realizadas por un laboratorio independiente relativas al ASTM D1275 B (método estándar para el azufre corrosivo en aceites aislantes eléctricos) dieron como resultado que el MIDEL® 7131 no es corrosivo.

MIDEL® 7131 también es notable por sus excelentes propiedades lubricantes. MIDEL® 7131 es compatible con todos los materiales aislantes que se utilizan en la construcción de los transformadores convencionales.

Retrolleado

MIDEL® 7131 se utiliza para retrolleado transformadores de distribución que contengan PCB y aceite mineral. Las características térmicas, el rendimiento refrigerante y las propiedades eléctricas de MIDEL® 7131 son equivalentes a las del aceite mineral. Esto asegura que no hay necesidad de llevar a cabo ninguna alteración al diseño del transformador o bajarlo de categoría cuando se retrollena con MIDEL® 7131.

Durante el retrolleado, hay que minimizar la contaminación con otros fluidos aislantes para evitar reducir el punto de combustión o poner en peligro la clasificación de "no peligroso para el agua".

Eliminación

Para la eliminación, se recomienda quemar en unas instalaciones apropiadas el MIDEL® 7131 usado o los restos del fluido aislante. Se aplica el código 130309 de eliminación de residuos (aceites de transmisión de calor y dieléctricos inmediatamente biodegradables).

Normativa

MIDEL® no está sujeto a la normativa de transporte por tierra, mar y aire. No requiere etiquetado según la Normativa de Sustancias Peligrosas.


Características del éster de transformadores tipo T1 según IEC 61099 y DIN VDE 0375

Propiedad	Método de ensayo	Requisito	MIDEL® 7131	Unidad
Propiedades físicas según IEC 61099				
Color	ISO 2211	máx. 200	125	HU
Aspecto	IEC 61099 9.2	claro, carente de materia en suspensión y sedimentos	claro, carente de materia suspendida y sedimentos	-
Densidad a 20°C	ISO 3675	máx. 1,00	0,97	kg/dm ³
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D 445	máx. 35,0	28	mm ² /s
Viscosidad cinemática a 20°C		máx. 3.000	1.400	mm ² /s
Punto de inflamación	ISO 2719	mín. 250	260	°C
Punto de combustión	ISO 2592	mín. 300	317 ± 5	°C
Índice de refracción a 20°C	ISO 5661	± 0,01 del valor dado por el fabricante	1,4555	-
Punto de fluidez	ISO 3016	Máx. -45	-60	°C
Cristalización	IEC 61099 9.9	Sin cristales	Sin cristales	-
Velocidad del sonido en MIDEL® 7131 a 20°C	-	-	1385	m/s
Propiedades químicas según IEC 61099				
Contenido de agua	IEC 60814	máx. 200	50	mg/kg
Neutralización	IEC 61099 9.11	máx. 0,03	< 0,03	mg KOH/g
Estabilidad a la oxidación	IEC 61125			
		máx. 0,3	0,01	mg KOH/g
		máx. 0,01	0	% masa
Valor calorífico neto	ASTM D 240-02	< 32	31,6	MJ/kg
Propiedades dieléctricas según IEC 61099				
Tensión de ruptura	IEC 60156	mín. 45	> 75	kV
Factor de disipación dieléctrica Tan δ a 90°C y 50 Hz	IEC 60247	máx. 0,03	< 0,03	-
Resistividad volumétrica, DC a 90°C	IEC 60247	mín. 2	> 50	Gohm-m

Los datos citados anteriormente son valores típicos. M&I Materials Ltd tiene una política de mejora continua de calidad de los productos. Se podrían alterar sin previo aviso los valores publicados anteriormente y éstos no constituyen una especificación.



ANEXO III: CARACTERÍSTICAS TRANSFORMADORES

TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN 1

- TRANSFORMADOR PRINCIPAL

- Peso : 8200 kg
- Primario - Tensión nominal 25000 V - 50 Hz:
 - potencia nominal : 4705 kVA
 - resistencia con corriente continua a 75°C : 1,46 Ω
- Secundarios de tracción a1-a3 y a2-a4:
 - tensión nominal : 1800 V
 - potencia nominal : 1090 kVA
 - resistencia con corriente continua a 75°C : 20,4 m Ω
- Secundarios de tracción a5-a7 y a6-a8:
 - tensión nominal : 1800 V
 - potencia nominal : 800 kVA
 - resistencia con corriente continua a 75°C : 74,4 m Ω
- Secundarios auxiliares c-d :
 - tensión nominal : 2200 V
 - potencia nominal : 925 kVA
 - resistencia con corriente continua a 75°C : 44,5 m Ω
- Impedancias de los cortocircuitos:
 - primario/tracción a1-a3 : 14 % base 1090 kVA
 - primario/tracción a2-a4 : 14 % base 1090 kVA
 - primario/tracción a5-a7 : 11,8 % base 800 kVA
 - primario/tracción a6-a8 : 11,8 % base 800 kVA
 - primario/conjunto de los secundarios de tracción : 10 % base 3780 kVA
 - primario/auxiliares c-d : 5,6 % base 925 kVA.

A - INDUCTANCIAS

1 - Inductancias de alisado

- Coeficiente de inductancia local : 45 mH (- 0, + 20 %) constante hasta 650 A, 30 mH a 1200 A
- Corriente nominal : 660 A (corriente ondulada)
- Corriente máxima, cresta : 1400 A
- Frecuencia de las ondulaciones : 100 Hz
- Regímenes de arranque (excepcional):
 - 910 A durante 21 mn con tres bogies motores, con catenaria de corriente monofásica,
 - 1150 A durante 7 mn con tres bogies motores, con catenaria de corriente monofásica,
 - 990 A durante 30 mn con dos bogies motores, con catenaria de corriente continua,
 - 880 A durante 15 mn con tres bogies motores, con catenaria de corriente continua,
- Resistencia con corriente continua a 75°C : 111 mΩ.

2 - Inductancia de filtro de entrada

- Coeficiente de inductancia : 13 mH
- Corriente nominal : 1100 A (corriente ondulada)
- Corriente máxima de cresta : 1300 A
- Resistencia con corriente continua a 75°C : 45,4 mΩ.

3 - Inductancia de filtrado de los auxiliares

- Coeficiente de inductancia : 4 mH
- Corriente nominal : 1400 A (corriente ondulada)
- Corriente máxima cresta : 1700 A
- Frecuencia de las ondulaciones : 300 Hz
- Resistencia con corriente continua a 75°C : 18 mΩ.

4 - Inductancia de filtrado de los armónicos

- Coeficiente de inductancia : 2,6 mH \pm 2 % a 1300 A
- Corriente nominal : 440 A ef. (corrientes alternas 50 Hz y 150 Hz)
- Corriente máxima, cresta : 1300 A
- Resistencia con corriente continua 75°C : 26,5 mΩ.

B - GRUPO DE REFRIGERACION

1 - Aérorrefrigerantes

- Pérdidas totales por evacuar : 350 kW
- Circuito de aceite:
 - caudal de entrada : 120 m³/h (2 x 60)
 - temperatura de entrada : 85°C
 - temperatura de salida : 79,1°C
 - pérdida de carga : 0,4 bar
- Circuito de aire:
 - caudal de entrada : 10,9 m³/s (2 x 5,8)
 - caudal de salida : 11,9 m³/s
 - temperatura de entrada : 40°C
 - temperatura de salida : 69,8°C
 - pérdida de carga : 195 Pa.

2 - Grupos motoventiladores

- Caudal de aire de ventilación : 10,9 m³/s
- Pérdidas de carga : 195 Pa
- Hélice : Ø 530 mm
- Motor de tensión trifásica:
 - tipo : 2 FXA 225
 - potencia nominal : 8,1 kW
 - velocidad nominal : 3265 rpm
 - frecuencia : 56 Hz
 - tensión trifásica : 380 V.

C - TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD SECUNDARIA

- Relación : 250/5
- Potencia de precisión : 5 VA
- Clase de precisión : 5 P8
- Frecuencia : 50 Hz
- Aislamiento : 0,6 kV.

D - EQUIPOS DE CIRCUITO DE ACEITE

1 - Válvula de seguridad del depósito de expansión de aceite

- Peso : 2,94 kg
- Estanco al aceite : - 25°C a + 100°C
- Presión nominal PN : 0,5 bar
- Presión de intervención PI : PN - 0/ + 25 % bar
- Presión de ejercicio PE : PI - 0,1 bar.

2 - Grupos moto-bombas de aceite

- Dimensiones : 430 mm x 440 mm x 280 mm
- Peso : 35 kg
- Tipo : 2 KEA0010+105-20
- Temperatura del aceite : - 25°C ≤ T° ≤ + 100°C
- Caudal : 72 m³/h
- Presión nominal : ≥ 8 mCE
- Líquido transportado : aceite mineral NFC 27101, clase II
- Potencia absorbida : 3 kW
- Rendimiento de la bomba : 53,55 %
- Motor de tensión trifásica:
 - frecuencia : 56 Hz
 - tensión trifásica : 380 V.

3 - Indicador de circulación de aceite

- Peso : 0,8 kg
- Temperatura de servicio : - 25°C ≤ T° ≤ + 100°C
- Caudal de aceite nominal : 60 m³/h
- Contacto para caudal : 11,4 m³/h
- Poder de corte : 8 A - 220 Vac
2 A - 220 Vcc
- Tensión de prueba de aislamiento : 2000 V - 1 mn - 50 Hz

4 - Válvulas de retención

- Dimensiones : 164 mm x 16 mm
- Peso : 2,25 kg
- Temperatura de servicio : - 25°C ≤ T° ≤ + 100°C
- Presión de servicio (cerrada) : 8 mCE.

5 - Válvulas de aislamiento

- Tipo : paso directo de mariposa
- Temperatura de servicio : $- 25^{\circ}\text{C} \leq T^{\circ} \leq + 120^{\circ}\text{C}$
- Presión de servicio permanente : 1 bar
- Diámetro de la tubuladura : 100 mm.

6 - Válvulas de vaciado

- Tipo : de brida con toma de muestras
- Peso : 2,7 kg
- Temperatura de servicio : $- 25^{\circ}\text{C} \leq T^{\circ} \leq + 120^{\circ}\text{C}$
- Presión de servicio permanente : 1 bar
- Diámetro de la tubuladura de conexión : 25 mm.

7 - Termóstatos a 40°C y 100°C

- Temperatura de servicio : $- 25^{\circ}\text{C} \leq T^{\circ} \leq + 100^{\circ}\text{C}$
- Contacto de cierre mediante elevación de temperatura regulada a : 3°C para 40°C
5°C para 100°C
- Temperatura de restablecimiento : 3°C para 30°C
5°C para 85°C
- Poder de corte (circuito inductivo) : 1,5 A - 125 Vac
1 A - 30 Vcc
- Tensión de prueba de aislamiento : 1000 V - 1 mn - 50 Hz.

E - SECADOR DE AIRE

- Dimensiones : 220 mm x 135 mm
- Peso : 1,8 kg
- Temperatura de servicio : $- 25^{\circ}\text{C} \leq T^{\circ} \leq + 50^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de regeneración del gel de silicio : 120°C a 150°C
- Volumen del gel de silicio : 0,5 dm³
- Volumen de aceite del transformador : 0 a 1600 dm³.

TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN 2

Transformador

- Tipo: LOT-7060
- Nº de identificación: 16783-1-1
- Clase de arrollamiento: Bobinas de disco
- Forma del núcleo: De dos columnas

Datos de la red

- Frecuencia: 50 Hz
- Unom.: 25 kV
- Umáx.: 27,5 kV (+10%)
- Umín.: 19 kV (-24%)
- por breve tiempo: 17,5 kV (-30%)

Datos de los arrollamientos

Primario

- Potencia: 7062 kVA
- Tensión: 25 kV (máx. 29,5 kV)
- Intensidad: 282,5 A

Datos de los arrollamientos

Secundario

Tracción

(por arrollamiento)

- Potencia: 975 kVA
- Tensión: 1500 V
- Intensidad: 650 A
- Inductancia: 2 mH \pm 5%
- U circ. interm.: 27,2% \pm 10%

Barras colectoras	I	II
- Potencia:	1214 kVA	1000 kVA
- Tensión:	2423 V	1500 V
- Intensidad:	500 A	667 A
- Inductancia:	3 mH	
- U circ. interm.	19.4% \pm 10%	

Potencia de pérdidas

- En el cobre P_{cu} 180 kW - 1/7
- En el hierro P_{fe} 3 kW + 1/7

A.2.1.2.- Reactancias de entrada

- Tipo: 2 FOD-5026
- N° de identificación HSTN310132

Ejecución

- Clase de arrollamiento: Bobina de disco
- Clase de núcleo De envoltura

Características por reactancia

- Inductancia, hasta 1100 A: 2x16 mH (+20% 0%)
- Corriente de efecto térmico: 2x900 A
(máx. 2 x1100A)
- Tensión continua nominal 3000V (máx. 4000V)
- Tensión alterna: 10 V ef.
- Frecuencia de la tensión alterna: 1200 Hz

Potencia de pérdidas: 2x29.5 kW+1/7

Terminales Pasamuros
DIN 3/1000

A.2.1.3.- Reactancias para corriente continua

- Tipo: 4 FOD-134
- N° de identificación: HSTN310133-R0001

Ejecución

- Clase de arrollamiento: por capas
- Clase de núcleo: 2 columnas, entrehierro

Características por reactancia

- Inductancia
 - a 300 A: 4x3 mH (I nom:3,3mH)
 - a 500 A: 4x2,5 mH (I nom2,75 mH)
 - a 650 A: 4x2 mH (I nom: 2,2 mH)
- Tolerancia: +20% / -0%

- Corriente de efecto térmico: 4x300 A
- Tensión continua nominal: 3000 V
- Tensión alterna: 1000 V ef
- Frecuencia de la tensión alterna: 300 Hz

- Potencia de pérdidas: 4x2,5 kW+1/7
- Terminales: Pasamuros DIN 3/630

A.2.1.4.- Reactancia de absorción

- Tipo: 2 SOD-281
- N° de ident.: HSTN310134

Ejecución

- Clase de arrollamiento: Bobina de disco
- Clase de núcleo: De envoltura

Características por reactancia

1. En servicio de tensión continua:

- Corriente de efecto térmico: 2x1000 A
- Tensión continua nominal: 3000 V
- Tensión alterna: 300 V ef.
- Frecuencia de la tensión alterna: 1200 Hz.

2. En servicio de tensión alterna:

- Corriente de efecto térmico: 800 A ef./100Hz
- Valor de cresta 1300 A
- Tensión alterna: 370 V ef.
- Frecuencia de la tensión alterna: 100 Hz
- Inductancia a 1300 A: 0,86 mH (+20%/-0%)

Efecto ohmico del inducido 8,5 m (a 75 °C)

Potencia de pérdidas: 11 kW + 1/7 (a 800 A ca)

Terminales: Pasamuros DIN 3/1000

A.2.1.5.- Reactancias para servicios auxiliares

- Tipo: 2 GOD-235
- N° de ident.: HSTN310105

Ejecución

- Clase de arrollamiento Por capas
- Clase de núcleo 2 columnas, entrehierro

Características por reactancia

- Inductancia		(Valor medio)
a 160 A:	18,5 mH	(20,35 mH)
a 190 A:	15 mH	(16,5 mH)
a 250 A:	10 mH	(11,0 mH)
Tolerancia:	+20%/-0%	
Corriente de efecto térmico:	169 A	
Tensión nominal:	2400 V	
I máx.:	250 A	
Potencia de pérdidas:	2x2,5 kW+1/7	
Terminales:	Pasamuros DIN 3/250	

TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN 3

A.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Tensión alimentación motobombas y ventiladores 400 Vca, 50 Hz
- Temperatura límite para el aceite de refrigeración 120°C
- Flujo aire refrigerado 2 * 3,8 m³/s
- Tiempo máximo de funcionamiento del transformador sin ventilación..... 30 s
- Temperatura ambiental exterior -20°C ÷ +50°C
- Prueba de vibraciones y choques Según norma CEI 60310
- Nivel de ruido del transformador alimentado a 25 kVca:
 - Límite del nivel de ruidos..... 86 dB
 - Condiciones de medición 1 m desde la cuba del transformador
 - Normativa IEC 551
- Vibraciones generadas por el transformador hacia el tren. Ver Tabla A-1.

Tabla A-1. Vibraciones del transformador hacia el tren.

Octava (Hz)	Lv, dB Re 1 nm/s
31,5	95
63	93
125	90
250	90
500	90
1000	90
2000	85
4000	80
8000	75

- Vibraciones transmitidas por el tren hacia el transformador..... Según norma IEC 61373
- Tiempo de alimentación (se han contemplado 50 encendidos y apagados al día del transformador) 17,5 h/día

- Pruebas (pruebas facultativas o de investigación no se realizan) Según CEI 60310
- Peso total del transformador (incluido aceite, sistema refrigeración, conductos) 7500 kg +/- 3%

A.2.1.1 Válvula de seguridad

- Grado de protección IP 65
- Estanqueidad al aceite bajo presión Junta Viton, suministrada con la válvula
- Masa total 3 kg
- Dimensiones mecánicas:
 - Diámetro del tubo de unión DN 80
 - Presión nominal (PN) 0,5 bar/0,7 bar
 - Presión de intervención (PI) PN -5% / +10%
 - Presión de ejercicio (PE) Max. PI – 0,1 bar

A.2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

A.2.2.1 Transformador de tracción

- Bobinado primario:
 - Número de devanados 1
 - Potencia nominal (potencia total en entrada del transformador + pérdidas máximas del transformador) 5656 kVA + 375 kW
 - Tensión nominal 25 kV
 - Frecuencia 50 ± 1 Hz
 - Corriente de pico a tensión máxima <450 A
 - Resistencias a 150°C 2,512 Ω

- Bobinado secundario o de tracción (S ó T):
 - Número de devanados..... 4
 - Potencia nominal (corriente nominal + armónicos x tensión sin carga)..... 1414 kVA
 - Tensión nominal 2000 V
 - Corriente nominal + armónicos 707 A
 - Prueba de resistencia dieléctrica (prueba de tensión aplicada). 10000 V, 50 Hz, 60 s
 - Tensión de referencia para el cálculo del aislamiento 3600 V
 - Resistencias a 150°C 0,031 Ω
- Pérdidas totales en transformador con tensión nominal y corriente nominal primaria <375 kW
- Tensiones de cortocircuito en todas las combinaciones de parejas de bobinados con potencia base de 1354 kVA. Ver Tabla A-2.

Tabla A-2. Tensiones de cortocircuito.

Tracción 1	Tracción 2	Tracción 3	Tracción 4	
37,6% Pbase	37,6% Pbase	37,6% Pbase	37,6% Pbase	Primario
	65,3% Pbase	65,3% Pbase	65,3% Pbase	Tracción 1
		65,3% Pbase	65,3% Pbase	Tracción 2
			65,3% Pbase	Tracción 3

A.2.2.2 Inductores de filtro a 3 kVcc

- Inductancia de entrada:
 - Número de inductancias..... 4
 - Inductancia 16,5 mH +10% / -0%
 - Corriente nominal 620 A

- Corriente de pico 750 A
- Prueba de resistencia dieléctrica
(prueba de tensión aplicada) .. 9500 V, 50 Hz, 60 s
- Tensión de referencia para el
cálculo del aislamiento..... 3000 V
- Pérdidas totales en las 4
inductancias con corriente
nominal <375 kW
- Resistencias a 150°C..... 0,084 Ω

TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN 3

A.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Altitud Inferior a 1400 m
(Clase A1 de EN50125-1)
- Temperatura trabajo $-25^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$
- Vibraciones Según EN 61373,
clase A
 - Frecuencia $2 \div 60 \text{ Hz}$
 - Valor RMS longitudinal..... $3,9 \text{ m/s}^2$
 - Valor RMS transversal $2,9 \text{ m/s}^2$
 - Valor RMS vertical $5,9 \text{ m/s}^2$
 - Duración..... 5 h/eje
- Límites de ruido Ver Tabla A-1 y
Tabla A-2

Tensión de alimentación (Catenaria CA monofásica)

- Tensión mínima no permanente 17,5 kV
- Tensión mínima permanente 19 kV
- Tensión nominal..... 25 kV
- Tensión máxima permanente 27,5 kV
- Tensión máxima no permanente 29 kV
- Gama de frecuencias..... $47 \div 52 \text{ Hz}$

Tensión de alimentación (Catenaria CC)

- Tensión nominal..... 3000 V
- Valor inferior..... 2000 V
- Valor superior..... 4200 V

A.2.1.1 Válvula de seguridad

- Grado de protección..... IP 65
- Estanqueidad al aceite
bajo presión..... Junta Viton, suministrada
con la válvula
- Masa total..... 3 kg
- Dimensiones mecánicas:
 - Diámetro del tubo de unión DN 80
 - Presión nominal (PN) 0,5 bar/0,7 bar
 - Presión de intervención (PI) PN – 5%/+10%
 - Presión de ejercicio (PE)..... Max. PI – 0,1 bar

A.2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

A.2.2.1 Transformador de tracción

- Bobinado primario:
 - Número de arrollamientos 4
 - Potencia nominal..... 3533 kVA
 - Tensión nominal 25 kV
 - Frecuencia nominal 50 ± 1 Hz
 - Resistencia total $4,28 \Omega + 10\%$ a 150°C
- Bobinado secundario o de tracción (S ó T):
 - Número de arrollamientos 4
 - Potencia nominal..... 997 kVA
 - Tensión nominal 1850 V
 - Resistencia/Arrollamiento..... $63,8 \Omega + 10\%$ a 150°C

Impedancias del transformador

Tabla A-3. Tensiones de cortocircuito.

Tracción 1	Tracción 2	Tracción 3	Tracción 4	
44,4% Pbase	44,4% Pbase	44,4% Pbase	44,4% Pbase	HV
	≈ 85,2% Pbase	≈ 85,2% Pbase	≈ 80,7% Pbase	Tracción 1
		≈ 80,7% Pbase	≈ 85,2% Pbase	Tracción 2
			≈ 85,2% Pbase	Tracción 3

A.2.2.2 Inductancias de filtro a 3 kVcc

- Número de inductancias..... 2
- Inductancia 81 mH 0%, + 30% y
± 2 entre bobinas
- Valor de inductancia saturada > 55 mH
- Inductancia mutua entre
las dos bobinas < 7,5 mH
- Corriente media efectiva 400 A
- Corriente máxima 500 A
- Ondulación máxima de
cresta a cresta 10 A pico a pico a Hz
- Resistencia/Reactancia (mΩ)..... 441 + 10% a 150°C
- Sobreintensidad 3,6 kA
- Nivel de aislamiento 30 kV
- Tensión aplicada 14 kV

A.2.3 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

- Modo de enfriamiento KDAF
- Fluido refrigerante..... Ventilado por aire
forzado
- Líquido refrigerante..... Ester sintético
(Midel® 7131)

- Clase térmica F
- Pérdidas totales en líneas
25 kV en modo CA < 180 kW + 10% a
150°C
- Pérdidas totales en líneas
3 kV en modo CC < 116 kW + 10% a
125°C
- Elevación de temperatura refrigerante 75 K
- Elevación de temperatura arrollamientos 100 K

Bombas de refrigerante:

- N° bombas 2
- Caudal total de aceite 70 m³/h
- Potencia suministrada 2 * 4,2 kW
- Factor de potencia 0,76
- Eficiencia (%) 43
- Corriente arranque 45 A/bomba

Ventiladores:

- N° ventiladores 2
- Tipos velocidad Plena, media
- Potencia de cada ventilador Ver Tabla A-4
- Potencia de cresta en el momento
de arranque para alta velocidad 83,2 A
- Potencia de cresta en el momento
de arranque para baja velocidad 20,4 A
- Disipación y potencia del transformador Ver Tabla A-5